



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

Raphaella de Souza Serapião Amorim
MATRÍCULA: 2142202/7

**Análise teórica e experimental da condutividade térmica e transmitância em
blocos de concreto translúcido**

Brasília
2018

RAPHAELLA DE SOUZA SERAPIÃO AMORIM

Análise teórica e experimental da condutividade térmica e transmitância em blocos de concreto translúcido

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientador: Engº Civil Jocinez N. Lima, M.Sc.

Co-orientador: Dr.Sérgio Luiz Garavelli.

Brasília
2018

RAPHAELLA DE SOUZA SERAPIÃO AMORIM

Análise teórica e experimental da condutividade térmica e transmitância em blocos de concreto translúcido

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng^a Civil Jocinez N. Lima, M.Sc.

Co-orientador: Dr.Sérgio Luiz Garavelli.

Brasília, 2018.

Banca Examinadora

Eng^a Civil Jocinez N. Lima, M.Sc.
Orientador

Dr.Sérgio Luiz Garavelli.
Co-orientador

Msc. Erika Regina Costa Castro
Examinadora interna

Dr. Marco Aurélio Souza Bessa
Examinador interno

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à minha família por sempre me dar condições suficientes para eu seguir adiante nos meus objetivos, principalmente minha Mãe Ana Cláudia, que é meu porto seguro, meu Pai Eustáquio, que é minha inspiração e a minha Vó Regina, que sempre participa dos meus sonhos independentemente de quais sejam eles. Estou longe de ser uma pessoa exemplar, mas tento ser o melhor que posso.

Quero agradecer ao meu namorado Eduardo, que me ajudou na realização dessa pesquisa, que ficou várias madrugadas comigo na transição dos resultados do papel para o computador, e que é meu confidente, amigo, companheiro e com quem quero passar o resto da minha vida.

Quero agradecer especialmente ao meu orientador, chefe, e amigo Jocinez que foi essencial para me ajudar a chegar aonde eu cheguei, que me deu uma das melhores oportunidades de emprego e aprendizado que é estar ao lado dele no trabalho, uma grande pessoa, super inteligente, sempre auto astral, que saca muito sobre estruturas, sempre feliz, poliglota (rs), sempre me ensinando, sendo compreensivo e sempre com muita paciência (muita paciência). Que me fez amar o que eu trabalho atualmente que é elaboração de projetos estruturais. Que me apresentou o desafio de elaborar um TCC sobre um material inovador e com poucas pesquisas no Brasil.

Quero agradecer ao meu co-orientador Sérgio Garavelli, que esteve presente em toda essa pesquisa, sempre apto para me ajudar independente do horário. Que ia pro CEUB somente para conversar comigo, independente se tivesses que trabalhar ou não naquele dia, que desmarcou vários compromissos somente para me ajudar. Muito obrigada professor, você foi essencial para esta pesquisa acontecer.

Quero agradecer aos meninos do laboratório do UniCEUB de Taguatinga II, Gustavo, Fabiano, Régis e Fabrício que foram super gentis e me ajudaram muito nos ensaios, especialmente o Régis que passou vários dias me ajudando na criação do aparato experimental, perdendo seu horário de almoço e passando do seu horário de ir embora. Sério, não tenho palavras para agradecer.

Agradeço a professora Erika que aceitou participar da minha banca, ela que é uma mulher de postura, super gentil, engraçada e auto astral, nunca vi esta mulher triste. Muito obrigada.

Agradeço ao professor Bessa que se disponibilizou para estar na minha banca e assim me avaliar em um momento tão importante da minha carreira, que me deu algumas dicas de formatação e layout e sempre esteve disponível para me ajudar.

Agradeço ao professor Jairo por ter me ajudado muito na formatação do meu trabalho.

Quero especialmente agradecer ao PAUL ALEJANDRO ANTEZANA LEDEZMA (in memoriam), que fez parte dessa pesquisa e que apesar de não tê-lo conhecido pessoalmente, já poderia imaginá-lo por conta dos elogios que ouvi sobre ele.

Muito obrigada mesmo, vocês não têm ideia de como foram essências para essa pesquisa acontecer.

*"Os que são loucos o suficiente para pensar que podem mudar o mundo, são aqueles
que realmente o fazem"*

Steve Jobs

RESUMO

O presente trabalho foi elaborado mediante a criação de um aparato experimental para realização de ensaios de condutividade térmica e transmitância em um bloco de Concreto Translúcido (fibras ópticas poliméricas (FOPs) adicionadas no concreto), cujo o percentual de fibras é de 4,1%, e comparando com o do concreto sem fibras, visto que pouco se tem estudado essas propriedades. Este estudo verificou que o concreto translúcido conduz menos calor que o concreto sem fibras, pois o coeficiente de condutividade térmica (k) do concreto de acordo com a NBR 15.220 (2003) (tabela B-3), cuja a densidade da massa aparente esteja entre 2200 Kg/m³ e 2400 Kg/m³, é igual 1,75 W/mk, e através dos ensaios verificou-se que o do concreto translúcido é de 1,61 W/mk, ou seja, mostrando que a adição de FOPs no concreto o torna um melhor isolante térmico e que este transmite luz fria, ideal para iluminar objetos e áreas sem influenciar na temperatura. Para a fabricação do bloco de concreto translúcido é ideal a utilização do concreto auto adensável, visto a dificuldade de adensamento por conta das disposições das fibras. Com relação a transmitância viu-se que para um bloco de (0,15mx0,19mx0,39m), cuja área é de 0,0741m² com um percentual de fibras de 4,1%, este transmitiu 0,33% da sua iluminação para o outro lado, após aferir cinco pontos distribuídos em um aparato experimental de área igual a 0,2075 m².

Palavras-chave: Concreto Translúcido; Condutividade Térmica; Iluminação

ABSTRACT

The present work was elaborated by means of the creation of an experimental apparatus to perform thermal conductivity and transmittance tests in a block of Translucent Concrete (polymer fiber optics (FOPs) added in the concrete), whose percentage of fibers is 4.1%, and compared with the fiber-free concrete, since these properties have been little studied. This study verified that translucent concrete conducts less heat than non-fiber concrete, since the thermal conductivity coefficient (k) of concrete according to NBR 15.220 (2003) (table B-3), whose density is between 2200 kg / m^3 and 2400 kg / m^3 , is equal to 1.75 W / mk , and through the tests it was found that the translucent concrete is 1.61 W / mk , , showing that the addition of FOPs in concrete it makes a better thermal insulation and it transmits cold light, ideal for illuminating objects and areas without influencing the temperature. For the fabrication of the translucent concrete block, the use of self-compacting concrete is ideal, given the difficulty of densification due to the provisions of the fibers. The respect to the transmittance, it was observed that for a block of $(0.15\text{m} \times 0.19\text{m} \times 0.39\text{m})$, whose area is 0.0741m^2 with a percentage of fibers of 4.1%, this transmitted 0.33% of its illumination to the other side, after measuring five points distributed in an experimental apparatus of area equal to 0.2075 m^2 .

Keywords: Translucent Concrete; Thermal Conductivity; Illumination.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	JUSTIFICATIVA.....	2
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	CONCRETO COMO ELEMENTO DA COMPOSIÇÃO PLÁSTICA DA EDIFICAÇÃO	4
3.2	CONCRETO E LUZ NATURAL.....	6
3.3	UTILIZAÇÃO DO TERMO COMPÓSITO	7
3.4	HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS.....	8
3.5	TIPOS DE FIBRAS	9
3.5.1	FIBRAS POLIMÉRICAS	9
3.5.2	FIBRAS ÓPTICAS.....	10
3.6	FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICA OU PLÁSTICA.....	11
3.6.1	FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA	11
3.6.2	ESTRUTURA DA FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICA	12
3.6.3	PASSAGEM DE LUZ NA FOP	13
3.7	CONCRETO TRANSLÚCIDO.....	14
4	METODOLOGIA	20
4.1	CONCRETO TRANSLÚCIDO.....	20
4.1.1	FÔRMA	20
4.1.2	FIBRAS	23
4.2	CONCRETAGEM	24
4.2.1	DESFÔRMA E CURA	28
4.3	CONCRETO SEM FIBRAS.....	30
4.3.1	FÔRMA	30
4.3.2	CONCRETAGEM	31
4.4	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	36
4.4.1	APARATO EXPERIMENTAL E PAREDE DIVISÓRIA.....	37
4.4.2	FONTE DE CALOR.....	44
4.4.3	ENSAIO CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	45
4.5	CÂMERA TERMOGRÁFICA	47

4.6	TRANSMITÂNCIA DO CONCRETO TRANSLÚCIDO	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	CONDUTIVIDADE TÉRMICA	50
5.1.1	DADOS TEÓRICOS/TABELADOS	51
5.1.2	DADOS EXPERIMENTAIS	53
5.1.3	CÂMERA TERMOGRÁFICA	55
5.2	MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA	58
6	CONCLUSÃO	61
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	62
8	BIBLIOGRAFIA	63
9	ANEXO I.....	67
10	ANEXO II.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – a) Convento de La Tourette Le Corbuiser, 1960; b) Catedral de Brasília, DF.; c) Complexo governamental em Oslo, Noruega: Painéis de Picasso esculpido no concreto.....	4
Figura 2 - Estádio Soccer City feito com concreto colorido, cidade de Johannesburg, na África do Sul	5
Figura 3: Ponte Arsta, Estocolmo: concreto colorido protege obras de arte de manifestações patológicas	5
Figura 4 – “Church of the Light”, Ibaraki, Japão.....	6
Figura 5 – a)b)“Meditation Space”, UNESCO	7
Figura 6 – a) b) Novo terminal do Aeroporto Internacional de Guarulhos, São Paulo.	7
Figura 7 - Morro de fibra vegetal	8
Figura 8 - Processo de extrusão das fibras ópticas.....	12
Figura 9 – Estrutura da fibra óptica.....	13
Figura 10 - Ângulo de incidência de um raio de luz superior ao ângulo limite sofrendo reflexão total	13
Figura 11 – Transmissão de luz na FOP – a) corte longitudinal; b) estrutura cilíndrica; c) seção transversal.....	14
Figura 12 - a)c) anéis de concreto translúcido; b)colar de concreto translúcido.....	16
Figura 13 - a) edifício em Amã, na Jordânia, em que uma escada construída com o concreto translúcido, pode ser avistada externamente; b),c)A caverna da piscina de Obermaintherme	17
Figura 14 - Forma de madeira com camadas de concreto e fibra óptica.....	20
Figura 15 - Procedimento de distribuição e concretagem	21
Figura 16 - Nova Fôrma	21
Figura 17 - Detalhe da fôrma	22
Figura 18 - Fazendo furos para passagem da fibra óptica	22
Figura 19 - Forma terminada.....	23
Figura 20 - Jogo de formas	23
Figura 21 - a) Bitolas Comerciais. b) Fibra de 3,2 mm empregada na pesquisa.	24
Figura 22 - a) Fôrma com desmoldante; b) colocação da primeira camada; c) Colocação das camadas seguintes; d)moldes para corpos de prova.	24
Figura 23 - a) Detalhe do alinhamento das fibras; b) Forma feita com laterais em acrílico.	25
Figura 24 - a) Pesagem de materiais. b) Mistura do concreto na betoneira. c) slump de 8 cm obtido no primeiro protótipo. c) Distribuição do concreto.	26
Figura 25 - a) Concretagem na mesa vibratória. b) Concretagem na forma de acrílico. c) Corpo concretado d) corpos de prova.	27

Figura 26 - a) e b) Primeiro protótipo com bicheiras. c) e d) Segundo protótipo	28
Figura 27 - Cura submersa.....	29
Figura 28 - a) fôrma utilizada para concreto simples; b) Óleo lubrificante neutro.....	30
Figura 29- a) 3kg de cimento pesado na primeira proporção; b) 2kg de cimento restantes pesado para completar a proporção de 5x, 5kg	32
Figura 30 - a) Proporção de 3x b) proporção de 2x para completar 5x.	32
Figura 31 - a) Proporção de 3x b) proporção de 2x para completar 5x.	33
Figura 32 - a) b) c) Relação a/c com proporção de 5x.....	34
Figura 33 - a) 1 kg de água adicionado por conta da trabalhabilidade; b) betoneira misturando o concreto; c) slump 10 +-2.....	35
Figura 34 - Bloco e corpo de prova concretados.....	35
Figura 35 - Sistema para ensaio de condutividade térmica das amostras.....	36
Figura 36 - a) Planta baixa do aparato experimental; b) Corte A-A; c) Detalhe da ligação chapa-perfil mostrada no item.....	37
Figura 37 - a) vista frontal da parede divisória com o concreto translúcido; b) vista lateral da parede divisória sem o bloco translúcido.....	38
Figura 38 - a) Placa de drywall sendo cortada com a serra tico tico; b) Serra tico tico	39
Figura 39 - a) Esmerilhadeira; b) Perfil G48	40
Figura 40 - Painel semi rígida de lã de rocha.....	42
Figura 41 - a) Placa divisória; b) Base; c) tampa móve; d) Laterais do aparato experimental.....	42
Figura 42 – a) b) aparato experimental terminado.....	43
Figura 43 - a) aparato experimental com lã e gesso; b) Preparação do gesso; c) aparato experimental fechado totalmente pronto.....	43
Figura 44 - a) b) Fonte de calor, lâmpada de infravermelho	44
Figura 45 - Tipos de transferência de calor	46
Figura 46 - a) Aparelhos para medição; b) aparato experimental com os medidores e fonte de calor.....	46
Figura 47 – a);b) Termografia.....	47
Figura 48 - a) Esquema para colocar o luxímetro dentro do aparato experimental fechado; b) Medição da iluminância dentro do aparato experimental	48
Figura 49 - Bloco de concreto translúcido dentro da fôrma mostra que as fibras atravessam o concreto, tendo que ser feita a análise da resistência em paralelo	50
Figura 50 - a) infravermelho com concreto translúcido do lado esquerdo; b) infravermelho com concreto sem fibras do lado esquerdo; c) infravermelho com concreto translúcido do lado direito ..	56
Figura 51 - a) medição da face do calor conduzido; b) medição da face exposta pela fonte.....	57
Figura 52 - a) medição da face exposta pela fonte; b) medição da face do calor conduzido	57

Figura 53 - a) medição da face exposta pela fonte; b) medição da face do calor conduzido	58
Figura 54 - Área 1 e 2 de influência da transmitância de luz	59
Figura 55 - a); b) ;c) Ensaio de transmitância de luz visível.....	60
Figura 56 - a) corpo de prova testado a compressão; b) Valor pico obtido no teste de compressão ..	67
Figura 57 - corpos de prova para o teste de aderência fibra concreto.....	67
Figura 58 - a) corpo de prova testado a compressão que será comparado com o concreto com fibras ;b) Valor pico obtido no teste de compressão	68
Figura 59 - Comparativo do comportamento dos três ensaios no termopar condutor	78
Figura 60 - Comparativo do comportamento dos três ensaios no termopar receptor	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo resumido das empresas Litracon e Luccon	16
Tabela 2 - Dosagem de concreto simples e armado	26
Tabela 3 - Características técnicas do material	31
Tabela 5 - Características técnicas do material	33
Tabela 6 – Características do material	39
Tabela 7 - Características do material	40
Tabela 8 - Características do material	41
Tabela 9 - Características do material	44
Tabela 10 - Características técnicas do Luxímetro.....	49
Tabela 11 - Variação de temperatura escolhida para obter o tempo de exposição	54
Tabela 12 - Dados aferidos e calculados para se obter o %transmissão da luz.....	59
Tabela 13 - Concreto translúcido com a fonte do lado direito.....	69
Tabela 14 - Concreto translúcido com a fonte do lado esquerdo.....	72
Tabela 15 – Concreto sem fibras com a fonte do lado esquerdo.....	75

ÍNDICE DE ABREVIações

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c.....	Relação água/cimento
AR.....	Álcalis-resistente
CRF.....	Concreto Reforçado com Fibras
CRFP.....	Concreto Reforçado com Fibras de Polipropileno
CP.....	Corpo de Prova
FRC.....	Fiber-Reinforced Concrete
FOP.....	Fibra Óptica Polimérica/Plástica
IBRACON.....	Instituto dos Auditores Independentes do Brasil
LED.....	Diodo Emissor de Luz
MMC.....	Mínimos múltiplos comum
NBR.....	Norma Brasileira
UNESCO	Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Organização Cultural

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

°C.....	Graus Celsius
cm.....	Centímetros
Kg.....	Quilograma
Kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf/cm ²	Quilograma-força por centímetro quadrado
L.....	Litros
m.....	Metros
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos
MPa.....	Mega Pascal
Pç.....	Peça
Un.....	Unidade
W.....	Watts
h.....	Hora
Min.....	Minuto
s.....	Segundos
Lux.....	Iluminância

1. INTRODUÇÃO

O concreto é uma pedra artificial que ao endurecer tem resistência parecido com uma rocha natural, e quando no estado fresco pode ser moldado das mais variadas formas e tamanhos. Dessa forma, é o material construtivo mais consumido no mundo, por conta da sua versatilidade e a sua resistência à água, que quando exposto a agentes agressivos sofre uma menor deterioração em comparação ao aço e a madeira. (Revista 53 do Instituto dos Auditores Independentes do Brasil – Ibracon, 2009)

Diante do exposto, o objetivo principal da utilização do concreto é obter resistência, durabilidade, e que ao adicionar aditivos, associado a novas tecnologias, esta permita uma evolução no material, bem como otimização de suas características e visando atender ainda mais as suas necessidades, sendo notório a sua grande utilização nas construções mundiais.

Apesar de ter várias vantagens e de ser muito utilizado, um desafio para a aplicação do concreto é em relação à sustentabilidade, porque de acordo com Santos (2013), o concreto tem em sua composição cimento Portland, que é responsável por 7% da emissão de dióxido de carbono CO_2 na atmosfera e é um dos maiores consumidores de matéria prima virgem. Entretanto se comparado com o aço, alumínio, e o vidro, o concreto em quantidades proporcionais, gasta bem menos energia e emite menos poluentes, ressalta Battagin (2002), chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Uma outra desvantagem é com relação à iluminação de espaços, já que o concreto é um material que não transmite quantidade suficiente de luz para se obter iluminação natural, sendo necessário a utilização de energia artificial (gerada a partir de fontes alternativas). Dessa forma, para se obter um concreto mais sustentável com relação à transmitância de luz, que gaste menos energia elétrica, é necessário a utilização de novas tecnologias, como o uso das fibras ópticas poliméricas, permitindo uma evolução no uso desse material.

Assim surgiu o Concreto Translúcido que é a combinação de concreto e fibra óptica polimérica ou plástica (FOP).

Diante do exposto, este trabalho tem a intenção de agregar o conhecimento nacional deste produto, avaliando seu desempenho térmico e transmitância, uma vez que pouco se tem estudado essas propriedades.

1.1 JUSTIFICATIVA

- ECONÔMICA

Ao eliminar de forma parcial a iluminação artificial pode-se ter uma economia de energia tanto no âmbito da luminosidade como na eficiência energética.

- ACADÊMICA

O estudo fica relevante ao agregar um elemento comumente de caráter estético como um elemento estrutural. O estudo do concreto translúcido permite também a geração de patentes, pois o uso desse material está em desenvolvimento tanto do ponto de vista de fabricação como de suas aplicações na arquitetura e engenharia.

- SOCIAL

A incorporação de um novo material que permita o ingresso de luz natural pode ser aplicado em lugares com pouca iluminação natural, como presídios, hospitais, podendo trazer uma melhoria psicológica e conforto estético.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise teórica e experimental da adição de fibras ópticas poliméricas no concreto, comparando a sua condutividade térmica com o concreto sem fibras e determinando a sua transmitância.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Executar um bloco de concreto sem fibras;
- Desenvolver uma pesquisa experimental de um bloco de concreto translúcido
- Desenvolvimento de um aparato experimental para avaliação da condutividade térmica e transmissão de luz;
- Analisar condutividade térmica do concreto translúcido, comparando com o concreto sem fibras;
- Avaliar o comportamento do bloco de concreto translúcido com relação à transmissão de luz;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No decorrer deste item será apresentado um processo de revisão de literatura na qual será abordado os principais assuntos relacionados ao concreto translúcido para que se tenha uma melhor compreensão do assunto.

3.1 CONCRETO COMO ELEMENTO DA COMPOSIÇÃO PLÁSTICA DA EDIFICAÇÃO

Segundo Restrepo (2013), a utilização de concreto, não somente com a função estrutural, mas também como uma expressão estética só se deu no século XX, onde arquitetos como Le Corbusier, Walter Gropius e outros passaram a ser os pioneiros da arquitetura do concreto, mostrando este material tem vantagem na trabalhabilidade e adaptação a diferentes tamanhos e formatos. Diante das características citadas o concreto pode ser utilizado como um elemento da composição plástica da edificação, como ilustra as Figura 1.

Figura 1 – a) Convento de La Tourette | Le Corbuiser, 1960; b) Catedral de Brasília, DF.; c) Complexo governamental em Oslo, Noruega: Painéis de Picasso esculpidos no concreto



a)



b)

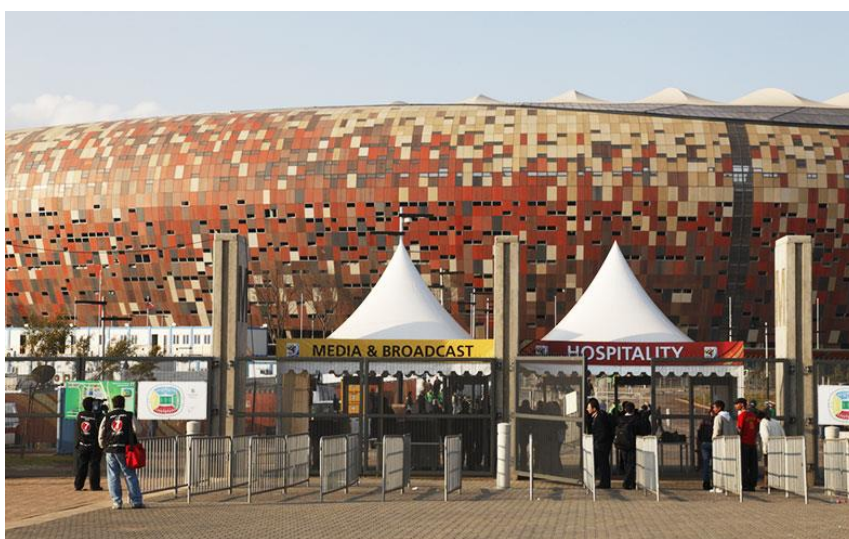


c)

Fonte: a) <http://www.fida.com.br/index.php/o-concreto-armado-em-12-obras-arquitetonicas-pelo-mundo/>; b) <http://www.curtamais.com.br/brasil/9-curiosidades-sobre-a-catedral-de-brasil>; c) <http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-e-material-inspirador-para-obras-de-arte/>

Outra vantagem da utilização do concreto estético na arquitetura é que este pode ter várias cores além do cinza, por meio da adição de pigmentos que possibilite que o concreto se torne colorido, tornando-se uma barreira mecânica a intempéries maior que em comparação a tintas e pastilhas, sendo empregada em fachadas, pontes, pisos e ciclovias, como mostram as Figura 2 e Figura 3. Porém cuidados devem ser tomados para não aparecer manifestações patológicas como eflorescência, muito comum de ocorrer em concreto colorido. (Votorantim; 2016).

Figura 2 - Estádio Soccer City feito com concreto colorido, cidade de Johannesburgo, na África do Sul



Fonte: http://www.mapadaobra.com.br/inovacao/concreto-colorido-alia-estetica-a-resistencia/?doing_wp_cron=1539028585.1767740249633789062500

Figura 3: Ponte Arsta, Estocolmo: concreto colorido protege obras de arte de manifestações patológicas



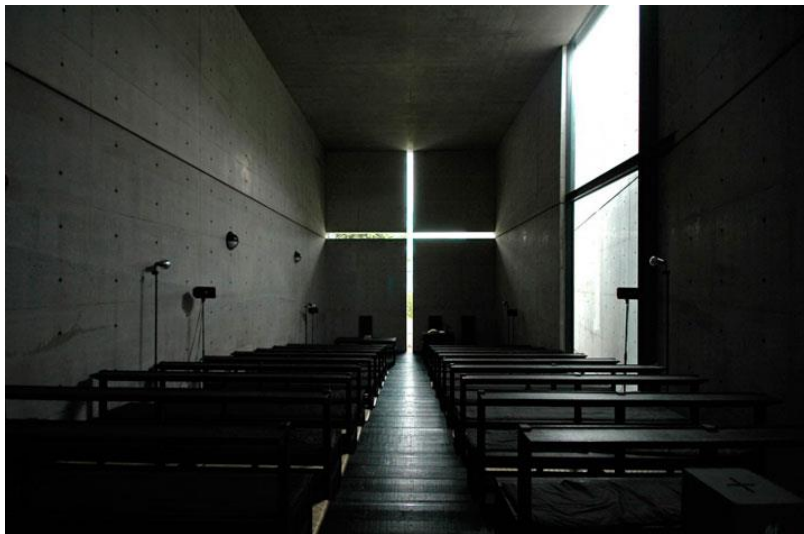
Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/fachadas-de-concreto-colorido/>

3.2 CONCRETO E LUZ NATURAL

Um dos desafios da construção é com relação à luminosidade dos espaços. Incorporar a iluminação no projeto arquitetônico é de suma importância para minimizar impactos negativos da utilização de luz artificial. O uso da luz natural para a luminância traz um conforto estético, ambiental e econômico muito significativo, sendo relevante na elaboração de projeto.

Segundo o autodidata Tadao Ando a iluminação natural é um fator muito relevante para criação de seus projetos, assim também como a utilização do concreto como elemento estético. Em sua obra intitulada - “Church of the Light” – Igreja da Luz (Figura 4), criada em 1989 em Ibaraki no Japão, ele criou uma fresta na parede em forma de cruz que uma boa parte do tempo recebe iluminação natural no ambiente. Essa cruz iluminada simboliza a dualidade, claro/escuro e sólido/vazio (Frampton, 1991).

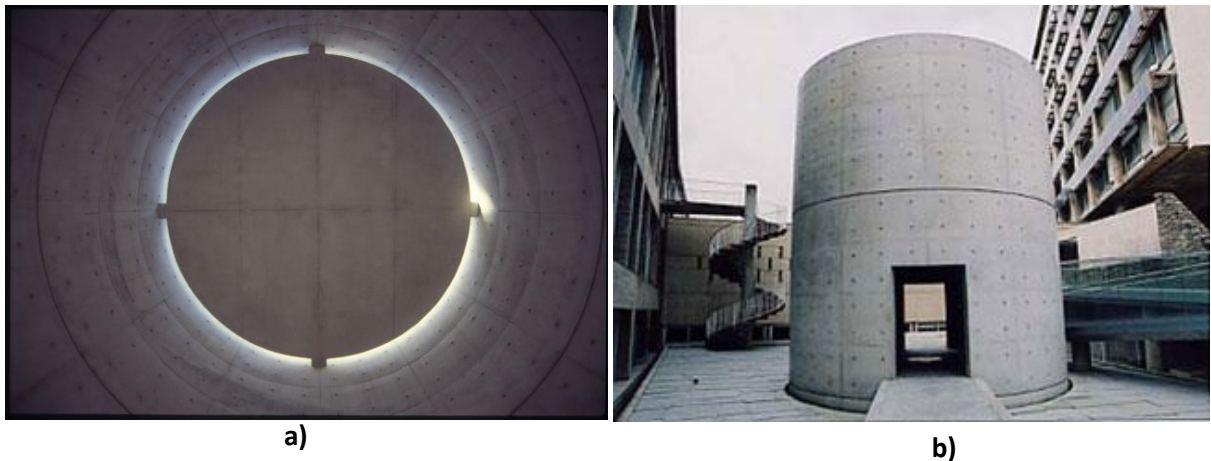
Figura 4 – “Church of the Light”, Ibaraki, Japão



Fonte: <http://architectuul.com/architecture/church-of-the-light>

Um outro projeto de Tadao Ando é o “Space of Meditation” – Espaço para meditação, que foi contratado pela UNESCO – *Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Organização Cultural*, em 1995 para celebrar o 50º aniversário da adoção da Constituição da Organização. Este projeto foi criado com intuito de simbolizar a Paz, neste trabalho ele criou no teto uma laje circular que não fecha todo o cilindro, deixando uma fina passagem de luz, como mostra a Figura 5, com o intuito de fazer as pessoas se concentrarem em si mesmas, meditarem, trazendo uma sensação de paz, e conforto revela artigo do site da Unesco (1995).

Figura 5 – a)b) “Meditation Space”, UNESCO

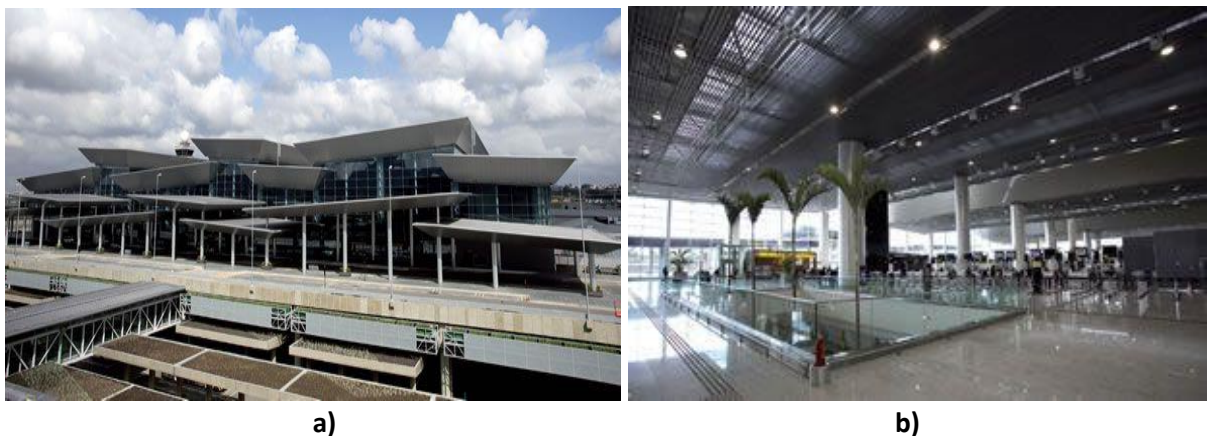


Fonte: <http://www.unesco.org/artcollection/NavigationAction.do?idOeuvre=3185>

Esse conceito de utilizar o concreto aparente com a passagem de luz natural, vem sendo muito utilizado em obras, minimizando a utilização de luz artificial para iluminação de espaço, por meio do emprego de vidros, muitas janelas, e até mesmo pequenos espaços entre a estrutura para passagem de luz natural.

A edição 209 da revista *téchne*, elaborada por Cichinelli (2014), mostra o novo terminal do Aeroporto Internacional de Guarulhos, São Paulo, que consiste em uma estrutura mista de concreto armado e metálico, com uma vasta utilização de vidros, frestas na cobertura, permitindo uma maior passagem de luz natural e consequentemente uma economia no gasto de energia elétrica. (Figura 6)

Figura 6 – a) b) Novo terminal do Aeroporto Internacional de Guarulhos, São Paulo.



Fonte: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/209/artigo326223-1.aspx>

3.3 UTILIZAÇÃO DO TERMO COMPÓSITO

De acordo com Figueiredo (2011), compósitos é um termo regularmente utilizado para materiais que ao serem adicionados em compostos proporcionem algum tipo de

reforço, aumentando sua propriedade física/mecânica que os compostos sozinhos não possuem.

Os materiais compósitos podem ser desenvolvimento naturalmente, pela própria natureza ou mesmo feita pelo homem. A natureza foi uma das pioneiras a desenvolver os materiais compósitos, como por exemplo a madeira que é constituída de resinas que envolvem as fibras de celulose e os ossos que é formado por cálcio e fibras de colágeno. (URIBE, 2010).

Dessa forma, neste trabalho abordaremos o compósito formado pelo homem, que consiste na adição de fibras para reforço do concreto, definido pela ACI 116R “fiber-Reinforced concrete – FRC”.

3.4 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS

O primeiro registro da utilização de fibras para reforço na construção civil foi a aproximadamente 3200 a.C, onde os hebreus no Egito utilizavam palha para fazer tijolos, conhecido como adobe. Com o avanço da tecnologia, uma nova gama de compósitos reforçados com fibras passou a ser utilizado (TANESI; FIGUEIREDO, 1999). Em torno de 3500 anos atrás, foi construído em AQAR QUF, conforme mostra a Figura 7 próximo de Bagdá, um morro elevado a 57 metros de altura de tijolos cozidos pelo sol possuindo como reforço a palha vegetal (fibra vegetal) (BENTUR: MINDESS, 1990 p. 1 apud ARIF, 2014).

Figura 7 - Morro de fibra vegetal



Fonte: Robbins (2010) apud Arif (2014)

A adição de fibras no cimento, plástico, cerâmica e produtos de gesso vem sendo utilizados para aumentar as propriedades dos compósitos, melhorando na resistência à tração, flexão, controle de fissuras, durabilidade, dureza, transmissão de luz e

resistência ao impacto, de modo que por meio dessa união propriedades do concreto sejam melhoradas, ressalta Uribe (2010).

Sendo assim a adição de fibras para reforço do concreto vem sendo muito utilizado no mercado tendo uma variedade de opção de fibras que melhoram suas propriedades, tais como fibras de vidro, aço carbono, polipropileno, nylon, minerais e vegetais, tendo cada uma um propósito, eficiência e custo (LOPES, 2005).

3.5 TIPOS DE FIBRAS

Existem inúmeras fibras que podem ser adicionadas ao concreto para melhorar ou mesmo aperfeiçoar suas propriedades físicas/mecânicas, sendo indispensável a análise para qual uso será a fibra, já que cada uma tem um custo, eficiência e propósito. Logo, com o intuito de aperfeiçoar a transmissão de luz no concreto, inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas a fim de se obter a fibra mais eficiente para esse objetivo.

Dentre as fibras utilizadas para que o concreto alcance um grau de translucidez, a fibra óptica polimérica tem tido destaque.

3.5.1 FIBRAS POLIMÉRICAS

A fibra polimérica é um tipo de fibra cujo o revestimento primário é feita de polímeros.

As fibras de polipropileno, nylon, polietileno, poliamida e poliéster são fibras poliméricas com inúmeras vantagens. Uma dessas vantagens é o seu reforço de matrizes cimentícias.

Essas fibras sintéticas (plásticas/poliméricas) contribuem para o controle de fissura e melhoram na resistência ao impacto, tendo a fibra de nylon com maior performance neste feito. Porém sua desvantagem aparece, comparando com as outras fibras, com relação à trabalhabilidade já que é muito ruim misturá-la no concreto. (BENTUR, MINDESS 1990 apud TANESI, FIGUEIREDO 1999).

De acordo com Tanesi et Figueiredo (1999), a primeira tentativa de utilização de fibra polimérica foi em 1965, sendo a de polipropileno a de maior utilização atualmente. Em 1966, a *Shell* desenvolveu e patenteou o “Caricrete”, que foi o nome dado para a produção de fibras de polipropileno em forma de filmes fibrilado, picotados

adicionados no concreto, com no máximo 1% dessa adição em volume (ZONSVELD, 1986 apud Tanesi et Figueiredo 1999).

Todas essas fibras apresentam eficiência no controle de fissuras, reforço do concreto, melhor resistência ao impacto, porém eles não possuem a vantagem da transmissão de luz, sendo necessário a análise de outras fibras para este objetivo.

3.5.2 FIBRAS ÓPTICAS

As fibras ópticas podem ser de vidro, plástico ou materiais poliméricos, desde que sejam transparente o suficiente para transportarem a mensagem (por meio de feixes de luz) de um filamento ao outro sem interferência, mesmo havendo cantos e curvas. Essas fibras possuem espessuras variadas, podendo ser tão fina quanto um fio de cabelo (RESTREPO, 2013).

De acordo com Campos (2002), nos tempos modernos as fibras ópticas são utilizadas em vários campos, de instrumentos elétricos a computadores para sensoriamento remoto.

As fibras ópticas foram desenvolvidas em 1952 por um físico indiano *Narinder Singh Kanpany*, porém passaram a ter aplicações práticas na década de 60 com o surgimento do LED – diodo emissor de luz, e do raio laser que são fontes de luz de estado sólido, sendo que em 1970 foram inicialmente destinadas para a indústria de telecomunicações.

A comunicação de fibra óptica é uma maneira de transmitir a informação a partir de um lugar para outro ocorrendo através do envio de impulsos de luz através de uma fibra óptica.

Peruzzi (2002) afirma que as fibras de vidro produzidas a partir do vidro tipo E, são atacadas pelo meio alcalino presentes na matriz de cimento Portland, tornando-a frágil, já que este afeta suas propriedades físicas como a sua tenacidade (resistência) e flexibilidade. Dessa forma, para se utilizar a fibra de vidro o mesmo dever ser feito por meio de dois processos distintos: um modificando a argamassa de cimento Portland com látex Estireno-Butadieno (SB) e adição de sílica ativa e a realização de um encapsulamento da fibra, que se trata de uma prévia proteção da superfície da fibra por meio da imersão em látex ou em uma mistura látex e sílica ativa.

A fibra de vidro tem a propriedade mecânica de transmitância de luz, porém seria necessário a utilização da fibra de vidro álcalis-resistente (AR) ou a proposta por Peruzzi 2002. Cabe destacar que o custo da fibra de vidro AR (cerca de 16% de óxido de zircônio (ZrO_2)) (Peruzzi, 2002 apud Tezuka, 1989) é muito alto se comparado a fibra de vidro convencional, cerca de três vezes o valor. Logo, a utilização da fibra óptica polimérica se torna economicamente mais viável para essa especificação.

3.6 FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICA OU PLÁSTICA

A utilização de fibra óptica polimérica/ plástica para iluminação de espaço vem sendo muito utilizada para obras arquitetônicas modernas, já que esta transporta luz natural de um ponto ao outro, em um circuito luminoso, podendo ser direcionada a qualquer ponto do edifício. (Campos, 2002).

As FOPs têm várias vantagens se comparadas as de vidro. Dentre elas pode se destacar que o custo de produção, bem como a temperatura de fabricação é bem menor do que as de vidro. Com relação à temperatura de fabricação, o processo de polimerização é essencial para uma boa qualidade óptica das fibras. Estas fibras não produzem radiação e são completamente imunes a interferências magnéticas, rádio frequência e ruído. A fibra óptica plástica possui a capacidade de dobrar em diferentes formas e o seu raio de dobragem é muito menor. (Maturi et al, 2012)

3.6.1 FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA

De acordo com a FIBRACEM (2018), as fibra ópticas podem ser fabricadas de sílica pura, dopada, vidro composto ou plástico, porém para sistema de iluminação é mais utilizada as de vidro composto e de plástico e as de sílica pura, sendo que as dopadas são mais usadas para sistemas de telecomunicações, visto que apresentam melhores características de transmissão.

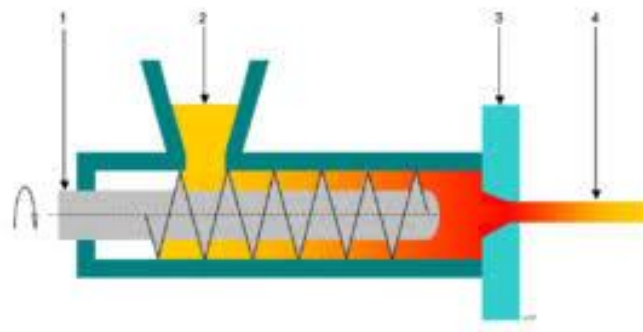
A Broliato plásticos (2018), relata que o processo de fabricação das FOPs é feito por extrusão, a qual consiste nas seguintes etapas de fabricação:

1. Colocar a matéria prima na máquina (extrusora);
2. Do funil, por gravidade, chegar à rosca;

3. Que por sua vez, empurra o material através de uma cavidade aquecida. Pela ação da rosca e dos elementos externos de aquecimento o plástico acaba derretendo e é forçado até o final do conjunto chegar a matriz;
4. Podendo ser de diversos formatos, desde que sejam contínuas e seção transversal constante que dá o formato final desejado.

A extrusora deve ser capaz de promover uma pressão uniforme para o polímero receber um fluxo homogêneo e constante até chegar a saída da matriz, conforme Figura 8, e assim ser feita as FOPs.

Figura 8 - Processo de extrusão das fibras ópticas plásticas



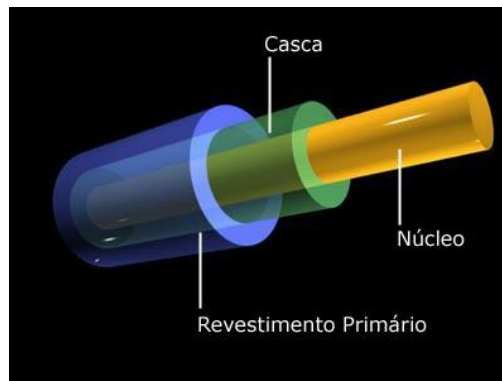
Fonte: <http://plastico-fibrastexteis.blogspot.com/2010/08/fibras-naturais-modificadas.html>

3.6.2 ESTRUTURA DA FIBRA ÓPTICA POLIMÉRICA

De acordo com Campos (2002), a fibra óptica é composta por materiais dielétricos (isolantes) com sua composição estrutural em forma de cilindro. Em sua forma mais simples é constituída de apenas um núcleo, uma casca e um revestimento primário, conforme mostra a Figura 9.

- **Núcleo:** fino filamento de vidro ou plástico por onde ocorre a transmissão de luz, com índice de refração (n_1) maior que o da casca.
- **Casca:** Camada que envolve o núcleo com índice de refração (n_2) menor que o do núcleo ($n_2 < n_1$), impedindo que a luz seja refratada e esta chegue ao dispositivo receptor.
- **Revestimento primário:** Constituída por um polímero/plástico que recobre a casca da FOP, fornecendo proteção contra choques mecânicos.

Figura 9 – Estrutura da fibra óptica



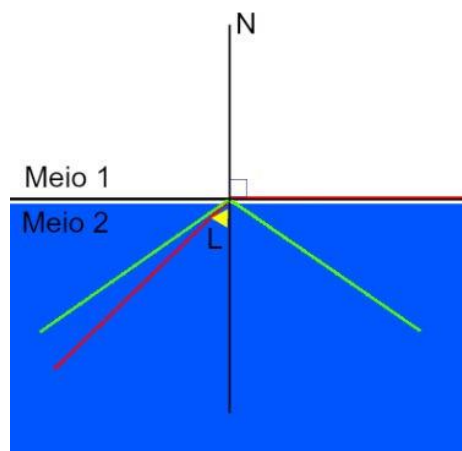
Fonte: <http://www.photon.com.br/cabos-opticos-geleados-secos-ou-totalmente-secos/>

3.6.3 PASSAGEM DE LUZ NA FOP

Segundo Campos (2002) a passagem de luz na fibra óptica acontece de acordo com um fenômeno chamado de reflexão total da luz, que é um fenômeno óptico que ocorre quando ao incidir a luz em uma superfície que separa dois meios, n_1 e n_2 .

O índice de refração n_1 (chamado de núcleo) e atinge a casca com índice de refração n_2 (superfície de um outro meio), tendo $n_1 > n_2$ (sentido do maior para o menor) chamado de índice de refração, é totalmente refletida permanecendo no meio de origem. Isso só ocorre se o ângulo de incidência for maior que o ângulo crítico/limite, conforme mostra Figura 10.

Figura 10 - Ângulo de incidência de um raio de luz superior ao ângulo limite sofrendo reflexão total

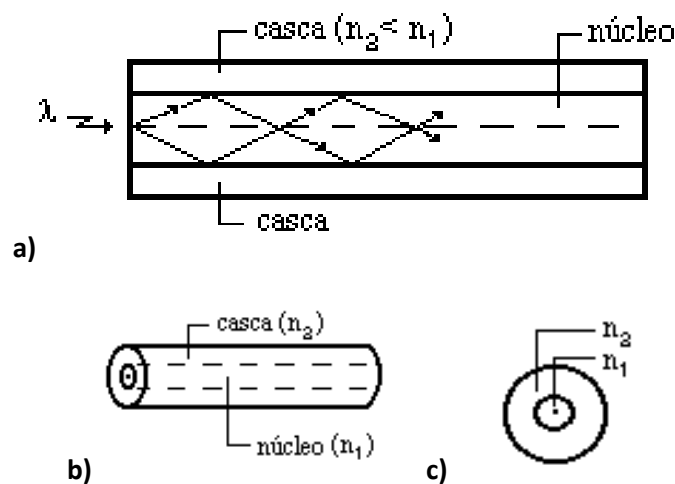


Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-total.htm>

De acordo com Uribe (2010), ao adicionar as FOP na mistura para fabricação do concreto, este torna-se um agregado do composto, com características únicas e

homogêneas por possuírem dimensões muito pequenas, ocorrendo a passagem de luz de uma extremidade a outra do filamento, por conta da luz que reflete muitas vezes na casca (através da reflexão total) e mandam o feixe de volta para o núcleo, conforme mostra Figura 11.

Figura 11 – Transmissão de luz na FOP – a) corte longitudinal; b) estrutura cilíndrica; c) seção transversal



Fonte: <http://penta2.ufrgs.br/redes.94-2/nunes/fibras.html>

3.7 CONCRETO TRANSLÚCIDO

De acordo com TUTIKIAN 2009, a fabricação do concreto translúcido é de forma bem simples, basta inserir as FOPs na fôrma, concretar, passar por um processo de cura e posteriormente submerso em água. O concreto translúcido surgiu em 2001 na Hungria, e está entre os países que mais exportam peças desse tipo de material.

O material é resultado de diversas pesquisas que vêm sendo realizadas desde 2001, na Hungria. Considera-se que foi desenvolvido pela primeira vez pelo arquiteto Húngaro Áron Losonczy (Litracon, 2015), registrado com a marca Litracon (Light Transmitting Concrete).

O Litracon foi inventado pelo arquiteto Húngaro Aron Losonczi no ano de 2001, sendo protegido por uma patente Sueca, que fundou a sua própria companhia, a Litracon, em 2004. A empresa fica localizada na cidade húngara de Csongrád, a 160km de distância da capital do país, Budapeste. (Giacomeli, 2014, p.3)

Losonczi (Litracon, 2015) registrou duas patentes para o material. A mais conhecida e comercializada é: “Bloco de concreto translúcido com fibras transmissoras de luz” (patente nº US 2005/0183372 A1 (LOSONCZI, 25/agosto/2005)). Quanto à outra patente registrada pelo mesmo autor - “bloco de construção translúcido (patente nº WO2009007765 (LOSONCZI, 2009))” - se vê novidade na composição e método de fabricação em relação à anterior.

Sendo um material novo, não existem muitos fabricantes de concreto translúcido no mercado mundial. Os atuais fabricantes, que se tem conhecimento são:

- Florak Bauunternehmung GmbH, Heinsberg / Alemanha
- LBM EFO, Berching / Alemanha
- Litracon Bft, Csongrad / Hungria
- LUCEM GmbH, Stolberg / Alemanha
- Luccon Lichtbeton GmbH, Klaus / Áustria

Em relação às características do concreto translúcido, as informações dos fabricantes Litracon e Luccon estão constantes na Tabela 1 em forma de resumo.

Tabela 1 - Comparativo resumido das empresas Litracon e Luccon

Litracon	Luccon
• Resistencia de até 4500 kg/cm2	• Isolamento térmico integrado;
• Peso volumétrico máximo de 2100 kg/m3	• Resistente a nevascas e ao sal do degelo;
• Incorporação de resinas e fibras, no lugar de cascalho e areia.	• Alta resistência ao raios ultravioleta UV
• Impermeável.	• Resistencia a compressão: > 90 N/mm2
• 90% da resistência máxima se obtém em menos de 7 dias.	• Densidade aparente: 2100 - 2300 kg/m3
• Possui maior resistência ao fogo que o concreto tradicional.	• Resistencia a compressão: 2100-2400 quilogramas/m³
• A preparação dos concretos ocorre com maquinaria tradicional.	• Força à compressão: 50 N/mm ²
• A cura é tradicional e não requer tratamentos térmicos ou laboratoriais.	• Dobrado limite de resistência a tração: 7 N/mm

Fonte: tabela adaptada das informações do site da Litracon e Luccon

Em seu site a empresa Litracon relata a criação da “Litracon Jewellery” (joias de concreto translúcido), em que se une metais preciosos com arquitetura e design de joias, adicionando concreto com as FOPs em uma pequena fôrma, é criado joias como anéis e colares, conforme Figura 12.

Figura 12 - a)c) aneis de concreto translúcido; b)colar de concreto translúcido



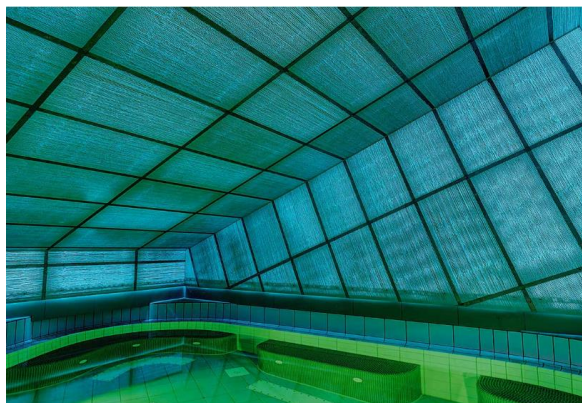
Fonte: <http://litraconjewellery.com/>

A transmissão de luz no concreto translúcido ocorre de forma bem simples. Ao incidir um feixe de luz sobre a superfície da peça ou bloco, este, por meio das FOPs, atravessa o material iluminando o meio oposto (pelo fenômeno chamado reflexão total da luz). Como as fibras ficam paralelas/intercaladas com a massa do concreto, pelo fato dele ser opaco, dá essa parcial visão do objeto do outro lado, ficando com aspectos de objetos geralmente sombreados, com pouca distorção e produzindo o efeito translúcido, conforme mostra Figura 13. (GIACOMELLI; MANTOVANI, 2014).

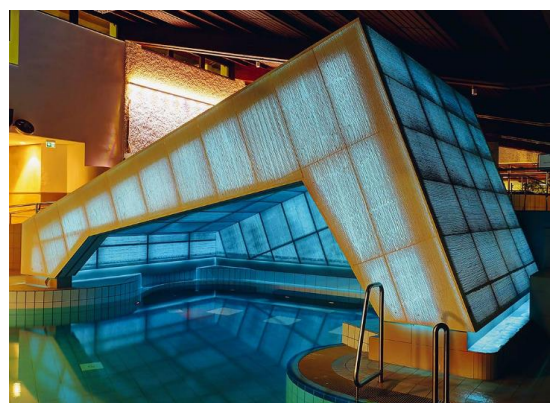
Figura 13 - a) edifício em Amã, na Jordânia, em que uma escada construída com o concreto translúcido, pode ser avistada externamente; b),c)A caverna da piscina de Obermaintherme



a)



b)



c)

O concreto translúcido é uma solução que permite aliar arquitetura com engenharia, construção e economia de energia, conforto luminotécnico com estética, inovação tecnológica com sustentabilidade. A transmitância de luz produzida pelo concreto translúcido pode reduzir significadamente o consumo de energia, uma vez que a iluminação natural é transmitida por reflexão total da luz de uma ponta à outra da fibra, permitindo a visualização da silhueta exterior e uma iluminação parcial do ambiente.

Apesar de todas essas vantagens e relevância para o meio ambiente e construção civil, o concreto translúcido tem uma grande desvantagem no preço, uma vez que ele utiliza fibras ópticas que muitas vezes tem que ser compradas fora do país pela dificuldade de adquiri-las no Brasil, o que onera o produto. Um outro fator que encarece o produto é o fato de que o concreto ideal para a mistura com a fibra é o auto adensável, tendo em vista a dificuldade de vibrar o bloco de concreto translúcido. De acordo com TUTIKIAN 2009 na Concrete Show, o concreto translúcido foi anunciado por R\$ 2400,00 o m³, sendo que no Brasil o custo médio do concreto convencional é de R\$ 300,00 m³, chegando a ser mais de 800% mais caro que o convencional, o que dificulta na sua utilização na escala nacional.

Um outro fator desvantajoso do concreto translúcido é que ainda é pouco difundido no Brasil, o que deixa o mercado nacional com atrasos de uma tecnologia inovadora, cuja a proposta é de melhoria na estética aliado com a conservação do meio ambiente. No Brasil, o concreto translúcido foi apresentado durante a Concrete Show South América 2008 (26 a 29 de agosto de 2008, em São Paulo).

Entre os centros de pesquisa que atualmente desenvolvem estudos sobre o material no Brasil, destacam-se:

- ✓ O Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual Vale do Acaraú, em Sobral, no Ceará. Equipe coordenada pelo professor Francisco Carvalho.
- ✓ O Laboratório de Tecnologia da Construção da Univates (Universidade do Vale do Taquari), em Lajeado, no Rio Grande do Sul;
- ✓ Núcleo de Sistemas Estrutural do Programa de Pós graduação da FAU/UnB

Diante das pesquisas realizadas, percebeu-se que o tema de concreto translúcido é bem recente. Abaixo estão relacionadas algumas pesquisas desenvolvidas no Brasil.

Desenvolvimento e aplicação do Concreto Translúcido, apresentado por COELHO, F. C. A, no Congresso brasileiro do Concreto, em 2010/Fortaleza, Ceará.

Desenvolvimento e avaliação de argamassa translúcida com fibra ótica polimérica - Dissertação de Mestrado em engenharia, desenvolvida por URIBE, L. J. M, em 2010. Na Universidade Federal de Santa Catarina.

Das Propriedades Físicas Intrínsecas Ao Concreto Translúcido - Pesquisa realizada pelos pesquisadores: Thiago Brazeiro Carlos, Álvaro Guimarães Lautert, Luis Eduardo Moodler; na Universidade Federal do Pampa/Alegrete-RS.

Concreto Translúcido: Premissas de Durabilidade – apresentado por GOMES, C.E.M; PIRES, A; MOREIRA, H. no Congresso brasileiro do Concreto, em 2013/Gramado, Rio Grande do Sul.

Concreto translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura. Dissertação de mestrado em arquitetura, desenvolvida por CADAVID RESTREPO, L. M em 2013. UnB/Brasília.

4 METODOLOGIA

A metodologia foi separada em itens e subitens para melhor compreensão dos ensaios propostos para verificação de algumas propriedades mecânicas do concreto translúcido.

4.1 CONCRETO TRANSLÚCIDO

A realização do protótipo do bloco de concreto com fibras ópticas, foram realizadas pelo Eng. Paul Alejandro Antezana Ledezma (*in memorian*), estudando os procedimentos desenvolvidos na UnB pela mestrandia Laura Margarita Cadavid Restrepo na dissertação: “Concreto Translúcido: Estudo Experimental Sobre A Fabricação De Painéis De Concreto Com Fibra Ótica E As Suas Aplicações Na Arquitetura”, conforme seguem subitens 4.1.1 à 4.1.3.

4.1.1 FÔRMA

Para o presente trabalho optou-se por um bloco maciço de concreto translúcido 0,15mx0,39mx0,19m, sendo 0,15 m a largura.

A forma foi desenhada e projetada seguindo como base os experimentos do protótipo D e E da dissertação de CADAVID RESTREPO (2013), durante esta experimentação percebeu-se que era problemático deixar a fibra transversal passando de lado a lado no corpo de prova, por causa do diâmetro delas de 0,25 a 0,75 mm e a tendência natural de se curvar. (Figura 14).

Figura 14 - Forma de madeira com camadas de concreto e fibra óptica



Fonte: (CADAVID RESTREPO, 2013).

O procedimento fica lento e a manipulação tanto da fibra como do concreto não se tem uma distribuição uniforme, gerando camadas não homogêneas. (Figura 15)

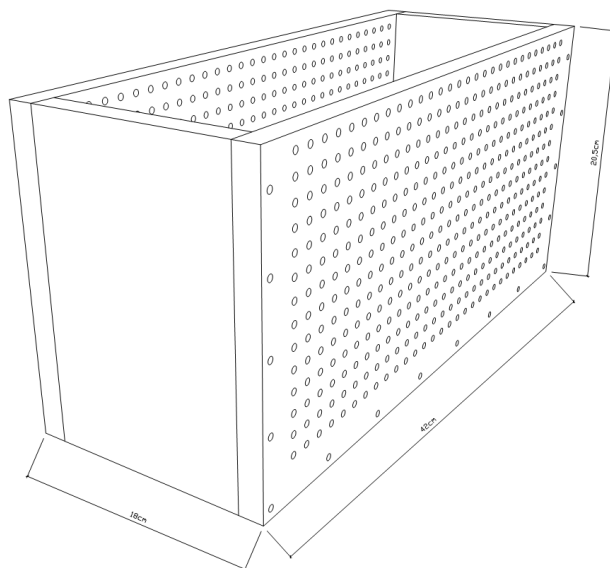
Figura 15 - Procedimento de distribuição e concretagem



Fonte: (CADAVID RESTREPO, 2013).

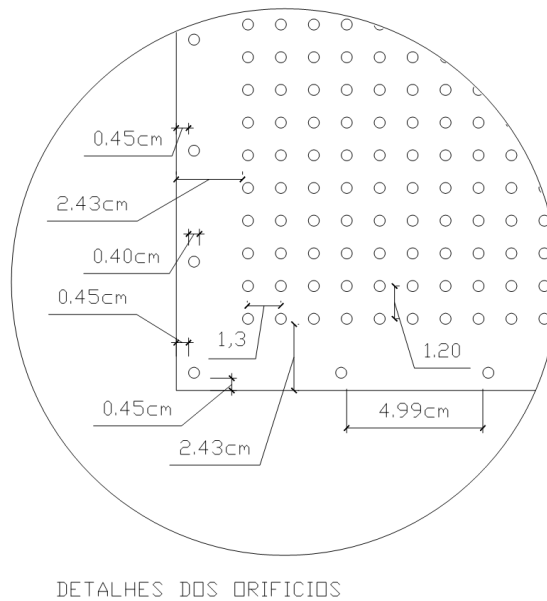
Na Figura 16, inicialmente, pode-se observar a nova fôrma que será feita em compensando naval com furos distribuídos de 1,3cm na horizontal e 1,2 na vertical criando uma grelha regular de 406 pontos de luz ao longo do bloco protótipo. (Ver detalhe da Figura 17).

Figura 16 - Nova Fôrma



Fonte: Autor

Figura 17 - Detalhe da fôrma



Fonte: Autor

A confecção e montagem das fôrmas foram feitas na Universidade Católica de Brasília. No centro dos modelos de fôrma, inicialmente os furos foram feitos de 3 mm de diâmetro, mas a fibra não passou, pois constatou-se que estas têm 3,2 mm, dessa forma, ampliou-se os furos a 4mm. (Figura 18).

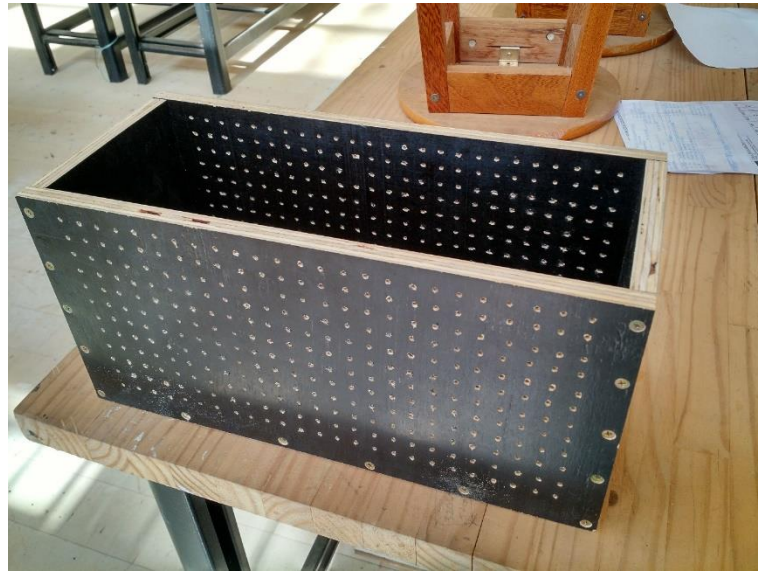
Figura 18 - Fazendo furos para passagem da fibra óptica



Fonte: Autor

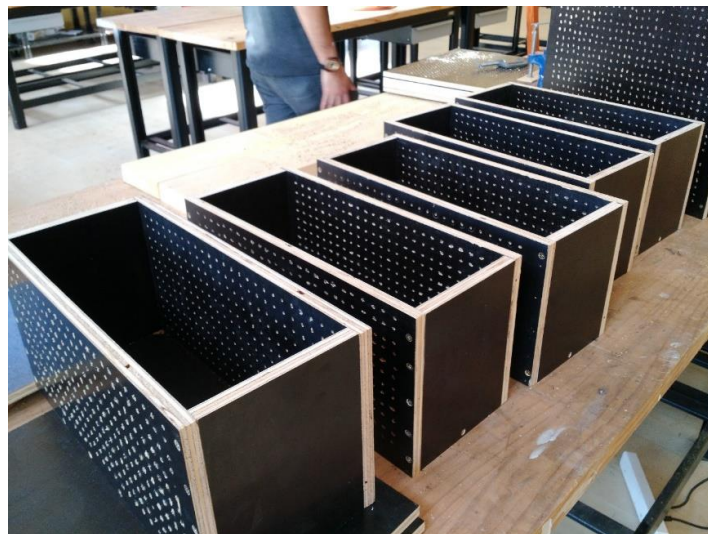
Após correção, se fez a montagem final e a confecção de um jogo de 5 fôrmas para serem empregadas na pesquisa. (Figura 19 e Figura 20)

Figura 19 - Forma terminada



Fonte: Autor

Figura 20 - Jogo de formas

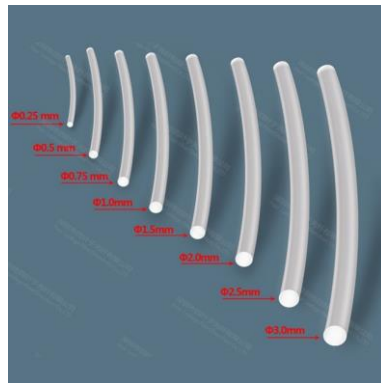


Fonte: Autor

4.1.2 FIBRAS

Por meio da pesquisa teórica identificou-se que existem várias bitolas comerciais de fibra óptica conforme ilustra Figura 21(a), no caso se optou por uma fibra de maior bitola com 3 mm de espessura, Figura 21(b), que a empregada no trabalho CADAVID RESTREPO (2013) \geq a 1mm, para poder transmitir maior iluminação e também por que a fibra com seção maior, mesmo tendo a tendência a se curvar pode ser locada e travada nos furos da forma seguindo um padrão desejado. Tudo isto permitindo a passagem e a vibração de concreto no corpo de prova.

Figura 21 - a) Bitolas Comerciais. b) Fibra de 3,2 mm empregada na pesquisa.



a)



b)

Fonte: Aliexpres; autor

4.2 CONCRETAGEM

A concretagem foi feita no laboratório do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Campus de Taguainga II. Após a confecção das fôrmas, procedeu-se com a colocação das fibras para a posterior concretagem. Colocou-se desmoldante tanto nas fôrmas para os blocos quanto para os corpos de prova a serem testados aos 7, 14 e 28 dias, respectivamente. Após isto, colocou e alinhou-se as fibras uma de cada vez até completar toda a fôrma.

Figura 22 - a) Fôrma com desmoldante; b) colocação da primeira camada; c) Colocação das camadas seguintes; d) moldes para corpos de prova.



a)



b)



c)



d)

Fonte: Autor

Na Figura 23 a) podemos ver um detalhe do alinhamento das fibras, na b) o mesmo procedimento foi empregado, porém com as paredes laterais feitas em acrílico cortado a laser.

Figura 23 - a) Detalhe do alinhamento das fibras; b) Forma feita com laterais em acrílico.



a)



b)

Fonte: Autor

Na concretagem dos primeiros protótipos seguiu-se a dosagem empregada por CADAVID RESTREPO (2013) (Tabela 2), mas por usar material seco na estufa, foi necessário fazer o ajuste de trabalhabilidade, onde foi adicionado 1(um) litro de água até atingir os 10 cm de slump que eram requeridos. O Slump Test verifica o abatimento do concreto e sua trabalhabilidade.

Tabela 2 - Dosagem de concreto simples e armado

Fc28 Kgf/cm2	Fator A/C x	Traço em peso	Areia para um saco de cimento			Pedra para um saco de cimento		
			Quant.	Altura	Numero	Quant.	Altura	Número
			litros	Padiola 45x35cm	De padiolas	litros	Padiola 45x35cm	De padiolas
180	0,74	1:2,89:4,33	115,6	36,7	2	156,88	24,90	4
205	0,68	1:2,62:3,94	104,8	33,27	2	142,75	22,66	4
225	0,64	1:2,44:3,67	97,6	30,98	2	132,97	21,11	4
240	0,61	1:2,31:3,47	92,4	29,33	2	125,72	19,96	4
270	0,56	1:2,09:3,13	83,6	26,54	2	113,41	18,00	4
300	0,52	1:1,91:2,87	76,4	24,25	2	103,99	16,51	4
330	0,48	1:1,73:2,60	69,2	21,97	2	94,20	14,95	4
375	0,42	1:1,47:2,20	58,8	18,67	2	79,71	12,65	4

Fonte: M.C. MORAES (1982)

O material foi pesado (Figura 24) e logo misturado numa betoneira da marca MOTOMIL com capacidade para 2 sacos de cimento. Logo após, foi feito o teste de abatimento obtendo valores de 8 e 10 cm respectivamente para cada protótipo.

Figura 24 - a) Pesagem de materiais. b) Mistura do concreto na betoneira. c) slump de 8 cm obtido no primeiro protótipo. c) Distribuição do concreto.



a)



b)



c)



d)

Fonte: Autor

Após obter a consistência desejada, foi necessário a utilização da mesa vibratória para se fazer o adensamento do concreto e assim evitar nichos de concretagem no bloco. Mas por temor a criar sedimentação na base do protótipo, vibra-se menos nas últimas camadas. Já no caso da forma de acrílico, esta foi vibrada com agulha sendo encostada na parte superior da fôrma onde se consegue visualizar a completa concretagem. (Figura 25)

Figura 25 - a) Concretagem na mesa vibratória. b) Concretagem na forma de acrílico. c) Corpo concretado d) corpos de prova.



a)



b)



c)



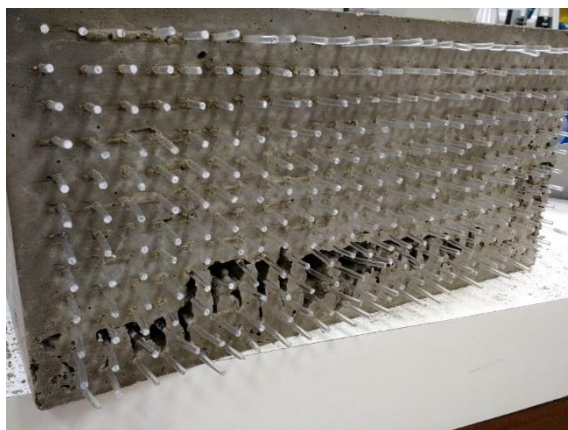
d)

Fonte: Autor

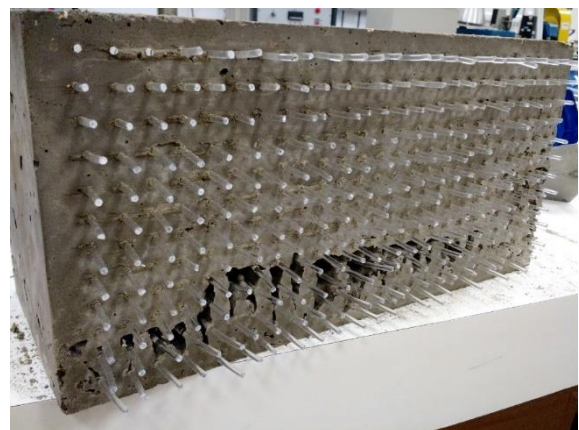
4.2.1 DESFÔRMA E CURA

Após concretagem, procedeu-se a primeira cura com a desforma feita após 24 horas. No primeiro protótipo viu-se que a escolha de não vibrar com maior frequência nas últimas camadas originou nichos, já na forma de acrílico não teve esse problema, pois a mesma permite a sua visualização. (Figura 26)

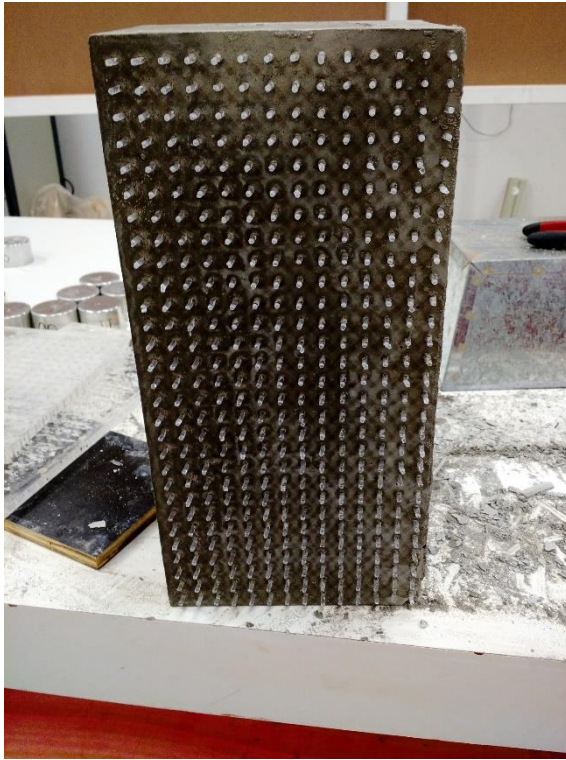
Figura 26 - a) e b) Primeiro protótipo com bicheiras. c) e d) Segundo protótipo



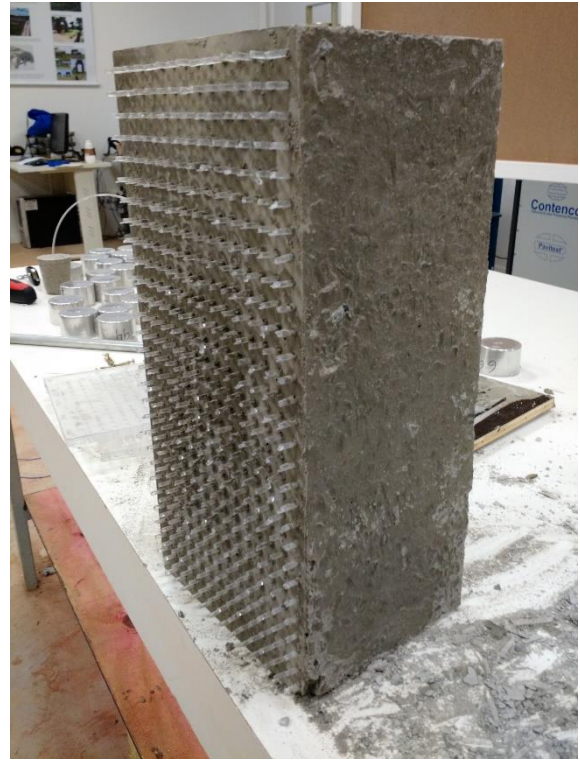
a)



b)



c)



d)

Fonte: Autor

Logo os protótipos e os corpos de prova são submersos por períodos de 24 a 72 horas para cura submersa. (Figura 27)

Figura 27 - Cura submersa



Fonte: Autor

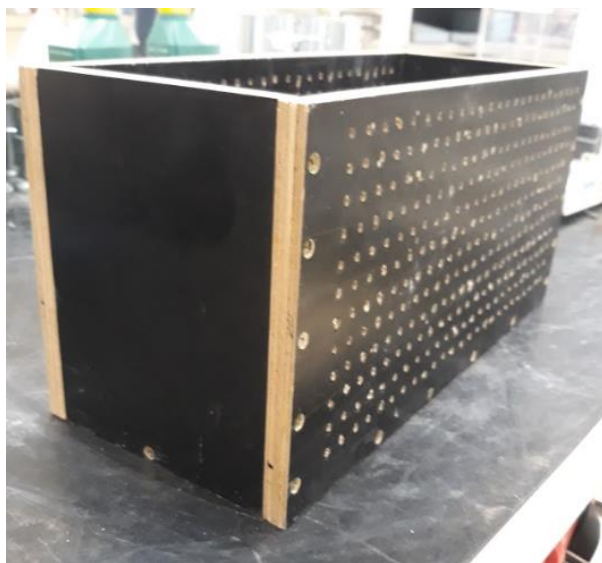
4.3 CONCRETO SEM FIBRAS

Para avaliar a condutividade térmica do concreto translúcido, executou-se um bloco de concreto sem fibras para ser comparado com concreto com FOP, conforme é descrito nos itens abaixo.

4.3.1 FÔRMA

Para a realização do bloco de concreto, utilizou-se a mesma fôrma do concreto translúcido, a fim de manter as dimensões 0,15x0,19x0,39m, sendo 0,15 m a largura. Para facilitar o desmolde do bloco de concreto, utilizou-se o óleo lubrificante neutro, da marca Siliflex, conforme mostra Figura 28a) e b). Devido a consistência do concreto, não houve a necessidade de tampar os furos da fôrma.

Figura 28 - a) fôrma utilizada para concreto simples; b) Óleo lubrificante neutro



a)



b)

Fonte: Autor

4.3.2 CONCRETAGEM

Para se obter um concreto com fck de 30 MPa, foi utilizado o traço 1:1,91:2,87, descrito na tabela 1, medidos em kg, o mesmo utilizado para o concreto com FOP.

Os materiais foram pesados na proporção 3x o traço, porém ao colocar na fôrma observou-se que os quantitativos não iriam ser suficientes para moldá-la e o corpo de prova (CP). Dessa forma optou-se pela proporção de 5x.

Os materiais utilizados para concretagem são:

I. Cimento CPV

Tabela 3 - Características técnicas do material

CIMENTO TOCANTINS OBRAS ESPECIAIS 40kg	
Produto	Cimento
Tipo	CPV
Cor	Cinza
Peso do Produto	40 Kg
Local Indicado	Interno e Externo
Marca	Tocantins
Código do Produto	89963251

Fonte: https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlaIqobChMImlLn3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX_D_BwE

Na composição do traço foi utilizado 0,05 kN de cimento, conforme Figura 29.

Figura 29- a) 3kg de cimento pesado na primeira proporção; b) 2kg de cimento restantes pesado para completar a proporção de 5x, 5kg



a)

b)

Fonte: Autor

II. Areia Média

A areia média foi seca na estufa para diminuir ao máximo o seu teor de umidade e garantir uma melhor eficiência no traço, este sendo 0,0191 kN de areia para 0,01 kN de cimento, conforme Figura 30.

Figura 30 - a) Proporção de 3x b) proporção de 2x para completar 5x.



a)

b)

Fonte: Autor

III. Brita 0

Tabela 4 - Características técnicas do material

PEDRA BRITADA 0 18kg	
Produto	Pedra Britada
Peso do Produto na Embalagem	18 Kg
Tamanho da Pedra	Brita 0
Material	Mineral
Tipo de Material	Brita
Marca	Cartefix
Código do Produto	89435255

Fonte: <https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlaIQobChMImLn3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX>

_D_BwE

O traço do agregado graúdo é de 0,0287 kN para 0,01kN de cimento, conforme Figura 31.

Figura 31 - a) Proporção de 3x b) proporção de 2x para completar 5x.



a)

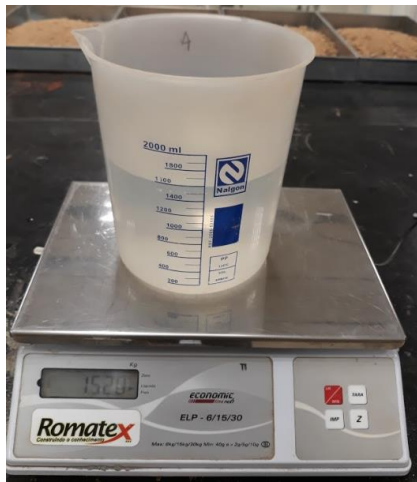
b)

Fonte: Autor

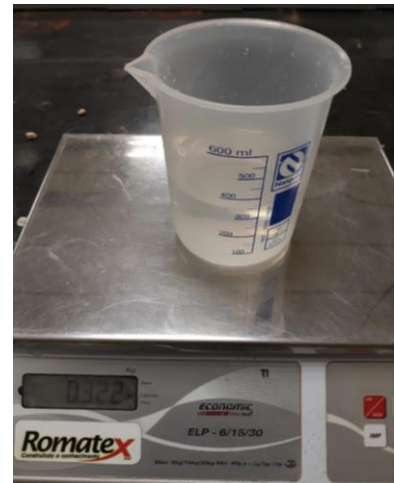
IV. Água

O fator água/cimento é 0,52, ou seja, para 0,01 kN de cimento, 0,0052 kN de água. Nesse caso para 0,05KN de cimento 0,026 KN de água. (Figura 32)

Figura 32 - a) b) c) Relação a/c com proporção de 5x



a)



b)

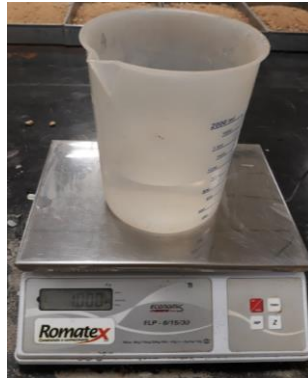


c)

Fonte: Autor

Os materiais foram misturados na betoneira da marca MOTOMIL com capacidade para 2 sacos de cimentos e foi adicionado mais 0,01 kN de água, por conta dos materiais secos na estufa, teve que fazer o ajuste de trabalhabilidade conforme efetuado na elaboração do bloco de concreto com FOP, para atingir o slump proposto de 0,1 m.(Figura 33)

Figura 33 - a) 1 kg de água adicionado por conta da trabalhabilidade; b) betoneira misturando o concreto; c) slump 10 \pm 2



a)



b)



c)

Fonte: Autor

Concretou-se a fôrma e o corpo de prova para ser rompido aos 7 dias e assim começar os ensaios de transmitância de luz e calor. (Figura 34)

Figura 34 - Bloco e corpo de prova concretados

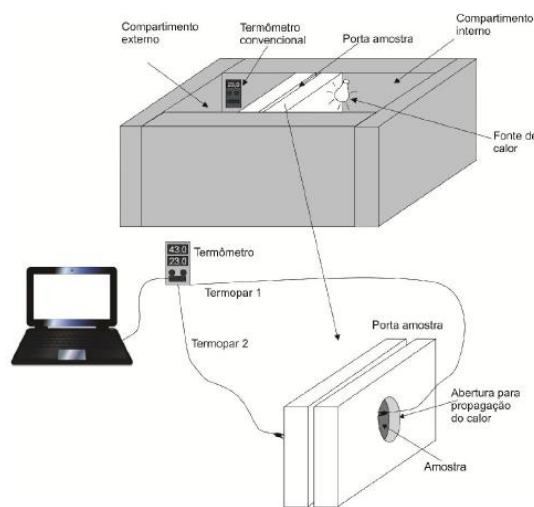


Fonte: Autor

4.4 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Para fazer o ensaio da análise de condutividade térmica do concreto translúcido comparado com o do concreto sem fibras, foi preciso a criação de um espaço, nesse caso um caixote, muito parecido com o criado no artigo do Oliveira et al (2015), no VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, cujo título “Determinação do Coeficiente de Condutividade Térmica de Compósitos Constituídos a partir da Fibra de Coco”. A Figura 35 mostra o esquema realizado por eles para obtenção dos dados.

Figura 35 - Sistema para ensaio de condutividade térmica das amostras



Fonte: Oliveira et al (2015)

O Sistema montado para a realização do ensaio de condutividade térmica constituiu-se dos seguintes componentes:

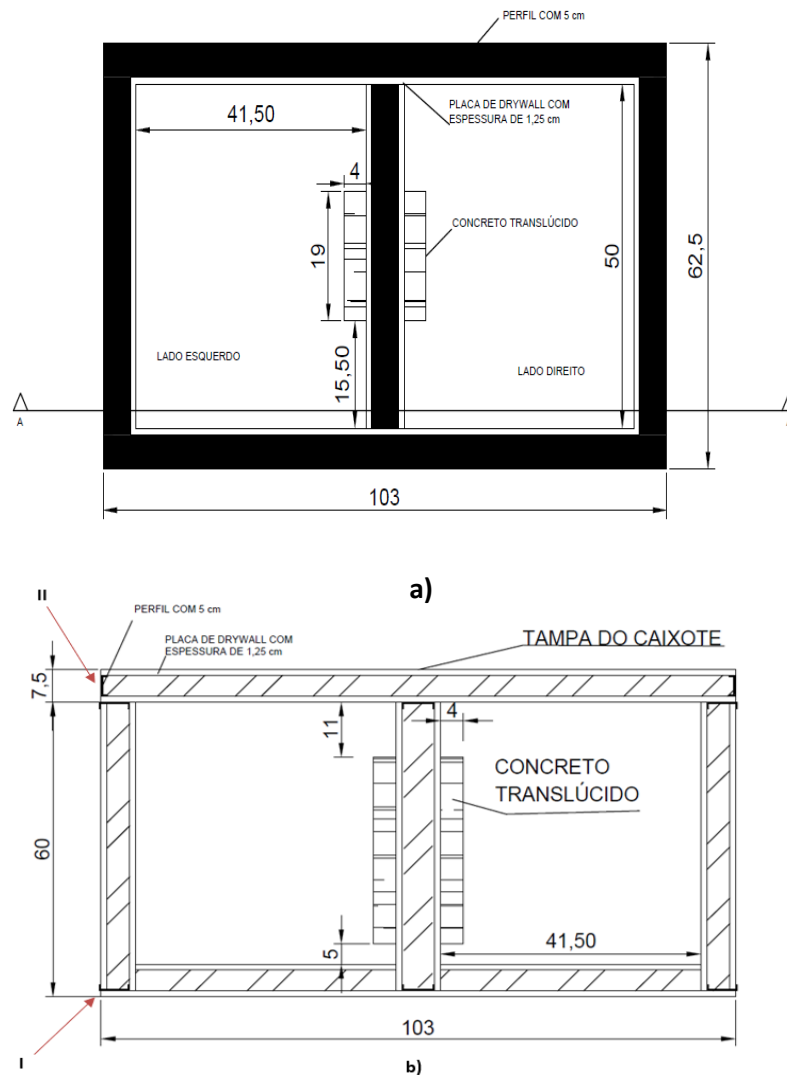
- ✓ 1 aparato experimental
- ✓ 1 Parede divisória
- ✓ 2 unidades de termômetro termopar
- ✓ 2 unidades de termômetro convencional (que mede temperatura interna e externa do aparato experimental)
- ✓ Fonte geradora de calor
- ✓ Câmera termográfica

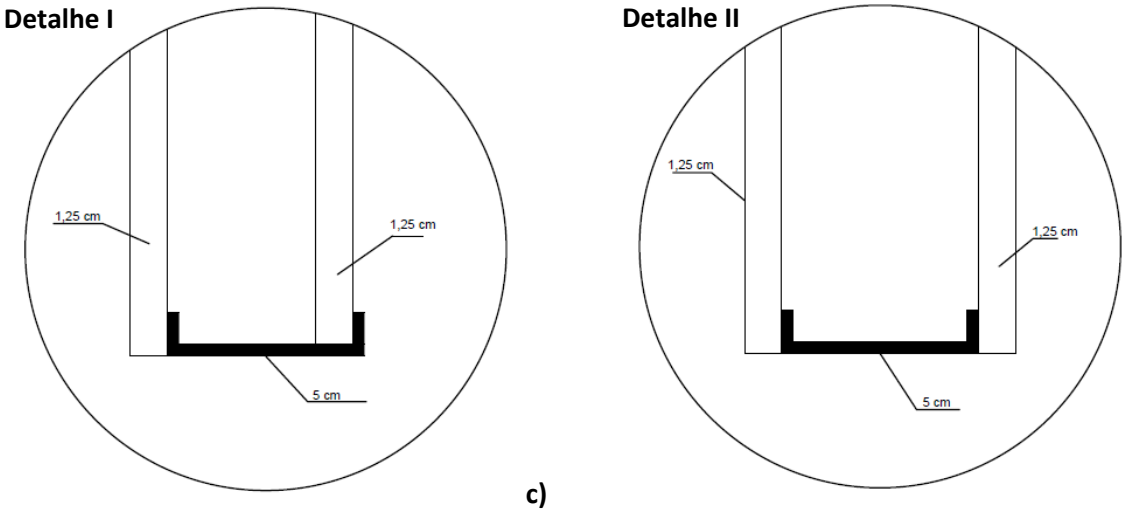
4.4.1 APARATO EXPERIMENTAL E PAREDE DIVISÓRIA

Por redução de custo, o aparato experimental foi executado diferente do elaborado por Oliveira et al (2015), mas com a mesma proposta de evitar a troca de calor com ambiente externo (possibilitando apenas a passagem pela amostra na parede divisória). Estão descritas as suas características técnicas em forma de tabelas fornecidas pelo site da empresa.

O aparato experimental e a parede divisória constam com 2 chapas de drywall sendo ligadas com o perfil guia e isolante térmico entre elas. As dimensões do aparato experimental e da parede divisória estão constantes no projeto das Figura 36 e Figura 37, respectivamente.

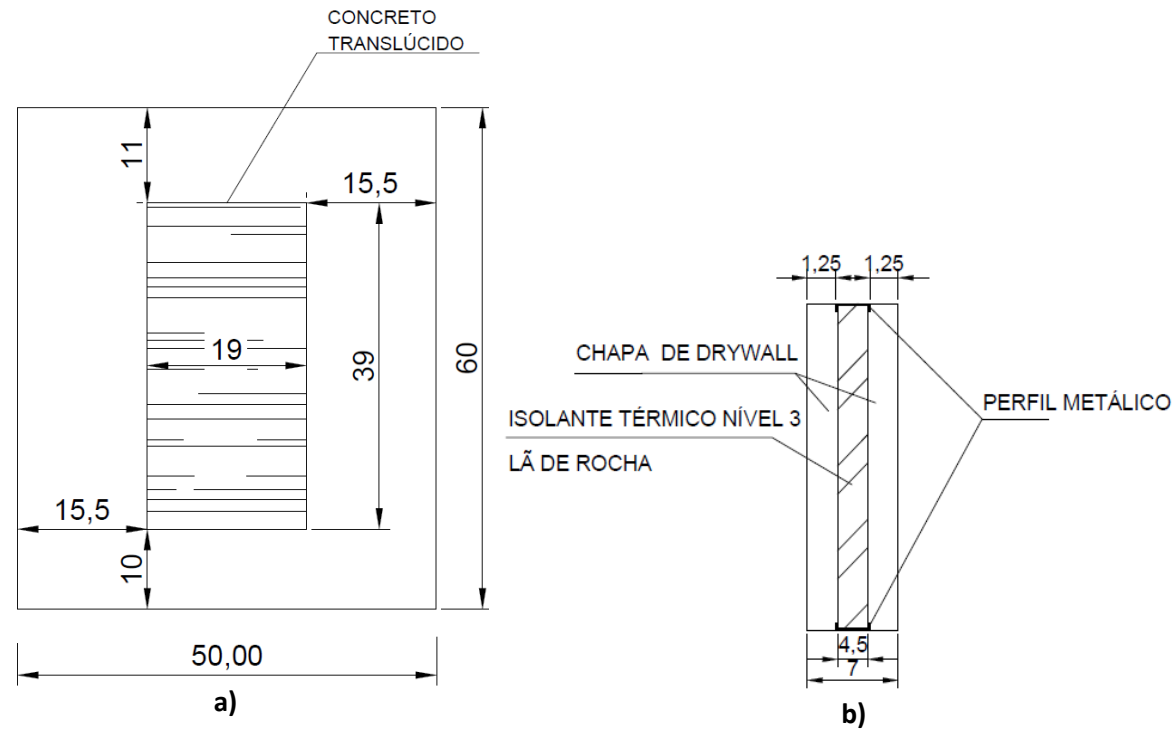
Figura 36 - a) Planta baixa do aparato experimental; b) Corte A-A; c) Detalhe da ligação chapa-perfil mostrada no item





Fonte: Autor

Figura 37 - a) vista frontal da parede divisória com o concreto translúcido; b) vista lateral da parede divisória sem o bloco translúcido



Fonte: Autor

I. Chapas de Drywall

Para a elaboração do aparato experimental e da parede divisória, foram utilizadas 6 chapas de drywall com dimensões de 2,00 m x 0,60 m e 1,25 cm de espessura, conforme Tabela 5 que mostra a caracterização do material. Para se obter uma maior precisão no corte, utilizou-se a serra tico tico. (Figura 38)

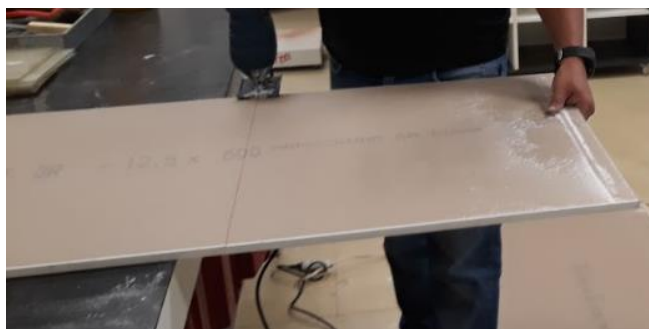
Tabela 5 – Características do material

CHAPA DE DRYWALL 2,00 X 0,60	
Produto	Chapa de Drywall
Altura por Peça	0,6 m
Largura por Peça	200 cm
Espessura por Peça	1,25 cm
Ambiente Indicado	Interno
Composição	Gesso
Uso Indicado	Áreas secas
Marca	Knauf
Tipo de Borda da Chapa de Drywall	BQ (Quadrada) e BR (Rebaixada)
Linha	Standard
Tonalidade	Branco
Peso do Produto	10 Kg
Coefficiente de Condutividade Térmica	0,16 kcal/h.m ² .oC
Código do Produto	88458874

Fonte: <https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlalQobChMImlLn3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX>

_D_BwE

Figura 38 - a) Placa de drywall sendo cortada com a serra tico tico; b) Serra tico tico



a)



b)

Fonte: Autor

II. Perfil metálico

Para fazer a união das chapas de drywall, conforme mostra o detalhe da figura 36, utilizou-se 6 perfis guia G48 cuja as dimensões são 0,5mmX3m da gravia, conforme mostra Tabela 6.

Tabela 6 - Características do material

GUIA G48 0,50mmx3m GRAVIA	
Produto	Guia
Material	Metal
Tipo de Material	Galvanizado
Profundidade	48 cm
Comprimento	3 m
Espessura	0,5 mm
Uso Indicado	Paredes e forros
Em Conformidade com Normas ABNT	Sim
Norma Técnica	NBR 15217
Marca	Gravia
Código do Produto	89764766

Fonte: <https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlalQobChMIln3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX>

_D_BwE

Para cortar o material foi utilizado uma esmerilhadeira, conforme Figura 39.

Figura 39 - a) Esmerilhadeira; b) Perfil G48



a)



b)

Fonte: Autor

III. Lã de rocha

Utilizou-se como isolante térmico a lã de rocha, cujo o nível de isolamento térmico é 3. (Figura 40)

Tabela 7 - Características do material

PAINEL SEMI RÍGIDO DE LÃ DE ROCHA 1,2x0,6mx50mm BIOLÃ	
Tipo de Isolamento	Térmico Acústico
Nível de Eficiência Térmica	Nível 3 - Ameniza até 8°C
Nível de Eficiência Térmico Acústico	Nível 2 - Ameniza sons de escritórios
Uso Indicado	Diversos segmentos industriais e da construção civil, como em torres e vasos de processo, aquecedores, secadores, tanque de armazenagem, fornos e estufas, dutos de ar condicionado, caixas acústicas, divisórias, Drywall, entre outras aplicações.
Local Indicado	Parede e forro
Produto	Lã de Rocha
Modelo	M7
Tipo	Composto por material incombustível, resistente a temperaturas até 850°C.
Composição do Material	Lã de Rocha
Altura	5 cm
Largura	0,6 cm
Profundidade	1,2 cm
Comprimento	1,2 cm
Espessura	50 mm
Tipo de Embalagem	Placa
Conteúdo da Embalagem	6 unidades
Tonalidade	Marrom
Impermeável	Sim
Marca	Biolã
Código do Produto	89514663

Fonte: <https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlaIqobChMlLn3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX>

_D_BwE

Figura 40 - PAINEL SEMI RÍGIDA DE LÃ DE ROCHA



Fonte: https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlaIqobChMIln3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX_D_BwE

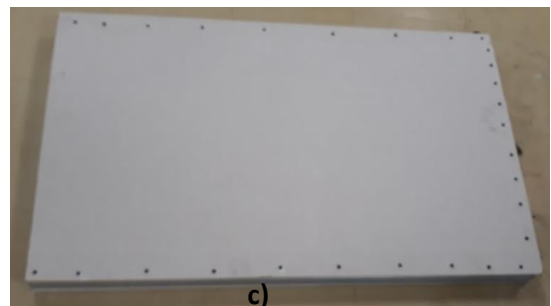
Com todos os materiais cortados do tamanho planejado, conforme consta os projetos das Figura 36 e Figura 37, procedeu-se a montagem conforme Figura 41 e o aparato experimental montado Figura 42, da seguinte maneira:

Placa divisória → Base do aparato experimental → Tampa móvel → Laterais do aparato experimental

Figura 41 - a) Placa divisória; b) Base; c) tampa móvel; d) Laterais do aparato experimental



a)



c)



b)



d)

Fonte: Autor

Figura 42 – a) b) aparato experimental terminado



a)

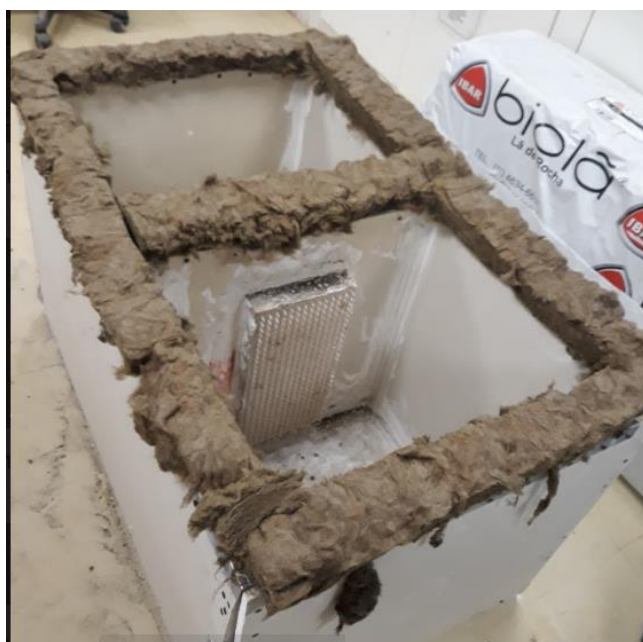


b)

Fonte: Autor

Com o aparato experimental pronto, percebeu-se que o fato da tampa ser móvel, não havendo uma fixação (pois necessitava que ela fosse retirada para execução do ensaio) haviam pequenos desníveis que poderiam permitir troca de calor com o meio externo, dessa forma, foi colocado lã de rocha entre a tampa e a parte de cima do aparato experimental para garantir a não troca. Para selar as imperfeições foi utilizado gesso nos cantos de ligação de placas. A tabela 8 mostra a descrição do material utilizado (gesso). (Figura 43)

Figura 43 - a) aparato experimental com lã e gesso; b) Preparação do gesso; c) aparato experimental fechado totalmente pronto



a)



b)



c)

Fonte: Autor

Tabela 8 - Características do material

GESSO PÓ 1kg FORTALEZA	
Produto	Gesso
Estado Físico	em Pó
Observações sobre a Secagem	Secagem rápida
Peso do Produto	1 Kg
Cor	Branco
Norma Técnica	ABNT 13207
Marca	Fortaleza
Código do Produto	7891605001775

Fonte: <https://www.leroymerlin.com.br/?gclid=EAlaIqobChMlLn3ouLR3gIVWFmGCh0wEgdNEAAYASAAEgIVX>

_D_BwE

4.4.2 FONTE DE CALOR

Diferente do que feito por Oliveira et al (2015), foram utilizados 3 fontes de calor, uma lâmpada incandescente de 20 W, uma de 60W e uma lâmpada de infravermelho da marca Infraterm com potência de 150W, montado em base de chapa de aço pintada, com haste de sustentação flexível, refletor em alumínio anodizado (distribui energia de forma homogênea) com interruptor incorporado ao cabo de ligação, conforme mostra Figura 44Figura 46. Optou-se utilizar somente a fonte de calor infravermelho por conta da sua potência, já que a espessura (15 cm) do bloco de concreto era muito grande e demoraria muito tempo para passar o calor para o outro lado.

Figura 44 - a) b) Fonte de calor, lâmpada de infravermelho



a)



b)

Fonte: Autor

4.4.3 ENSAIO CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Para a obtenção dos resultados da condutividade térmica das amostras (concreto com e sem as FOPs), utilizou-se como referência o livro “Fundamentos de Fenômenos de Transporte” 2ª edição, escrito por Pohlmann, o qual explica o que é transferência de calor e como funciona.

A metodologia do ensaio consistiu em avaliar três tipos de transferência de calor (radiação, condução e convecção), conforme mostra a Figura 45, a fonte de calor (que não está em contato direto com a amostra), por radiação térmica aumenta a temperatura da face do bloco, que por condução transfere calor para a outra superfície e por convecção, aquece a temperatura interna do aparato experimental.

O bloco de concreto translúcido foi colocado na parede divisória situada no meio do aparato experimental, dividindo-a em lado esquerdo e direito, totalmente isolada com chapas, lã de rocha e gesso para que o calor gerado fosse transferido ao máximo pela amostra, que é o objeto da análise.

Após a colocação da amostra, fixou-se os termopares em cada face do bloco para medir a transferência de calor por condução. Em seguida foi colocado em cada lado do aparato experimental um termômetro convencional que mede a temperatura, escrita como out, dentro do aparato experimental e a temperatura externa, escrita como in, fora do aparato experimental (temperatura ambiente), para medir a transferência de calor por radiação e convecção.

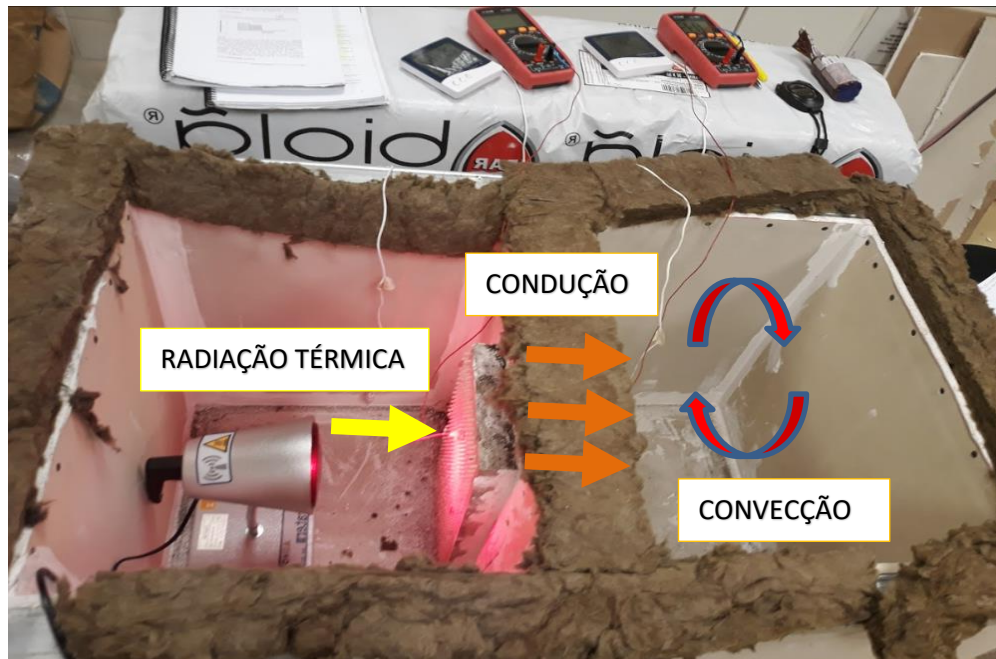
Posteriormente, colocou-se a fonte de calor do lado esquerdo para começar o ensaio. A primeira tentativa foi com a lâmpada incandescente de 20W, porém ao chegar em 60 min de medição, esta não havia transferido calor o suficiente para aumentar 1 °C no termopar, então o ensaio foi paralisado, descartado e iniciou-se novamente com uma lâmpada com 60W, não obtendo resultados esperados, foi novamente descartado. Passou-se então a utilizar a lâmpada de infravermelho, descrita no subitem 5.3.2. Foi então efetuado medições a cada 1 min da temperatura, durante um período de 120 min. (Figura 46)

Ao terminar o período de 120 min, foi retirado a tampa do aparato experimental e imediatamente, para minimizar o máximo possível a troca de calor com o meio externo, foi tirado fotos com a câmera termográfica somente para comprovação e

aperfeiçoamento do método, mas utilizou-se os dados obtidos pelo termopar que é um aparelho de maior precisão. O funcionamento da câmera termográfica está descrito no item 5.4.

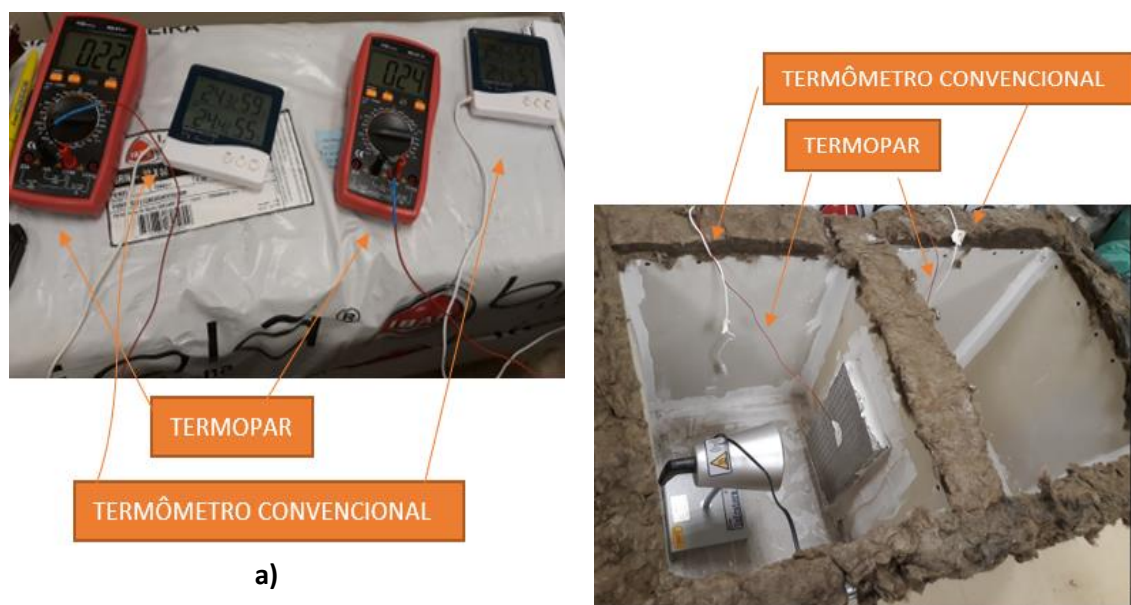
Foi efetuado o mesmo procedimento para o bloco de concreto sem fibras.

Figura 45 - Tipos de transferência de calor



Fonte: Autor

Figura 46 - a) Aparelhos para medição; b) aparato experimental com os medidores e fonte de calor



Fonte: Autor

b)

4.5 CÂMERA TERMOGRÁFICA

O ensaio de termografia, não destrutivo, de acordo com a NBR 15424 (2016) tem como objetivo a obtenção da temperatura da superfície a ser ensaiada. Por meio de um aparelho infravermelho, ao apontar um “target” (um pontinho localizado no centro da câmera) para um alvo, este informa a temperatura que o objeto se encontra (percepção da temperatura superficial de um corpo) pelo mecanismo de transferência de calor (radiação). Neste trabalho foi aplicada a termografia ativa, ou seja, houveram fontes de estimulação externa, os aquecimentos foram proporcionados pela incidência de 120 minutos de luz infravermelha. Apesar de ser uma técnica rápida e não invasiva, a termografia apresenta algumas limitações quanto a alta influência das condições ambientais, como vento e radiação solar, o horário de coleta de dados, entre outros.

A foto tirada da câmera funciona da seguinte maneira, no canto superior esquerdo do visor da câmera mostra-se a temperatura em que o “target” foi apontado e no canto direito aparece uma legenda que varia de um azul mais escuro (baixas temperaturas), vermelho até chegar ao branco (altas temperaturas), e sempre na parte inferior e superior tem os mínimos e máximos que aquele ambiente da foto se encontra, por isso que não é de muita precisão, já que para construir a legenda ela leva em consideração todo o ambiente e o seu gráfico é construindo da mesma forma e independente da temperatura a maior delas sempre será branca e a menor azul escuro.

Figura 47 – a);b) Termografia



a)



b)

Fonte: Autor

4.6 TRANSMITÂNCIA DO CONCRETO TRANSLÚCIDO

Para medir a transmitância de luz através do bloco de concreto translúcido, utilizou-se o aparelho luxímetro, cuja a descrição do material consta na Tabela 9. De acordo com a NBR 5382 (1985), a medição da iluminância por meio de um luxímetro consiste em medir a intensidade de luz por meio de um sensor, para determinar a grandeza da iluminância (quantidade de luz em um ambiente) e sua medida é dada em Lux.

De acordo com o site Saber Elétrica (2014), o aparelho luxímetro é como se fosse um mini amperímetro só que ligado a uma célula fotoelétrica, sendo medido ao incidir um feixe de luz sobre essa célula, ocorrendo uma diferença de corrente, já que um semicondutor da célula fotoelétrica fica carregada positivamente e a parte metálica negativamente. Dessa forma, é possível medir a incidência de luz naquele local.

Para se obter a iluminância média do ambiente do aparato experimental, foi colocado uma lâmpada incandescente de 20W do lado direito e feito 5 medições mudando as posições, mas sempre apontando a célula para a luz, e depois com a fonte no mesmo lugar, fez-se 5 medições do outro lado do bloco de concreto translúcido para avaliar a transmitância da luz nele, sempre com a tampa do aparato experimental fechada para evitar interferência de iluminação do ambiente externo. (Figura 48)

Figura 48 - a) Esquema para colocar o luxímetro dentro do aparato experimental fechado; b) Medição da iluminância dentro do aparato experimental



a)



b)

Fonte: Autor

Tabela 9 - Características técnicas do Luxímetro

LUXÍMETRO DIGITAL MOD. LD-400	
Display:	LCD 3½ dígitos 1,8"
norma	Atende a norma NHO 11
Escala de medição:	200, 2000, 20000, 200000Lux (20000Lux leitura x10) e (200000Lux leitura x100)
Resposta espectral:	CIE (CIE curva de resposta próxima do olho humano)
Precisão espectral:	≤6%
Resposta de cosseno:	≤2%
Precisão:	±3% ±10 dígitos (< 10000Lux) / ±4% ±10 dígitos (≥ 10000Lux)
Resolução:	200Lux = 0,1Lux (2000, 20000 e 200000Lux = 1Lux)
Característica de temperatura:	± 0,1% / °C
Tempo de resposta:	0,5 segundo
Sensor:	Fotodiodo de silício com filtro
Dimensões do sensor:	(87 x 55 x 20) mm
Temperatura de Operação:	0 a 40°C
Umidade de Operação:	30 a 80%U.R.
Alimentação:	2 pilhas "AAA" de 1,5V
Peso:	180g (incluindo bateria)
Dimensões (LxAxP):	(185 x 55 x 30) mm

Fonte: https://www.instrutherm.net.br/luximetro-digital-mod-ld-400.html#product_tabs_especificacoes

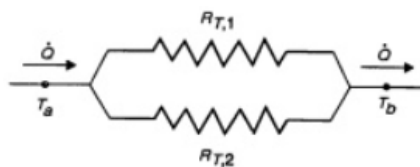
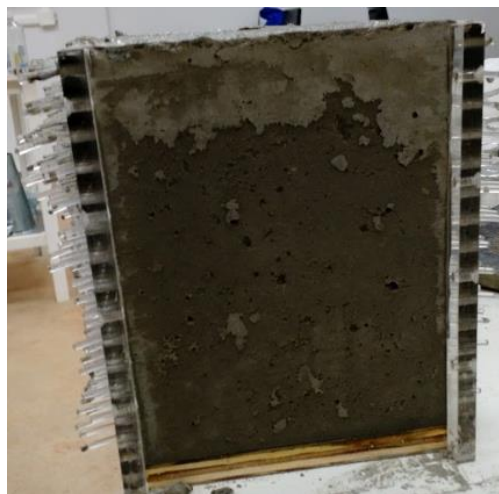
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

O estudo consistiu em verificar a resistência térmica do bloco de concreto translúcido exposto a um fluxo de calor, através da análise da resistência em paralelo, pois conforme Figura 49, as FOPs estão dispostas paralelamente ao concreto.

Através do cálculo da resistência, é possível encontrar o coeficiente de condutividade térmica do concreto + FOPs. Dessa forma, foram efetuados cálculos com alguns valores dos materiais tabelado (análise teórica) e foram comparados com os cálculos dos dados experimentais, como mostra o processo descrito nos itens 5.1.1 e 5.1.2, respectivamente.

Figura 49 - Bloco de concreto translúcido dentro da fôrma mostra que as fibras atravessam o concreto, tendo que ser feita a análise da resistência em paralelo



Fonte: Autor

Por conta da grande oscilação das temperaturas do termômetro convencional (isso ocorreu pelo fato do termômetro que estava grudado na parte inferior da tampa do aparato experimental ter desgrudado e mudado o ponto de medição) a temperatura

interna do aparato experimental estava aumentando e de repente diminuiu, e depois aumentava de novo (conforme tabelas do anexo II), não foi possível fazer a análise de transferência de calor por convecção e radiação, sendo somente avaliado por condução, ou seja, somente avaliou a condutividade térmica de ambas as faces da amostra.

5.1.1 DADOS TEÓRICOS/TABELADOS

Para a realização do cálculo teórico, foi necessário a determinação da densidade aparente do bloco de concreto através da equação 1:

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Em que:

$d \rightarrow$ densidade

$m \rightarrow$ massa

$v \rightarrow$ volume

Para $m = 24,62 \text{ Kg}$ e $v = 0,011 \text{ m}^3$, tem-se $d = 2238,18 \text{ kg/m}^3$. De acordo com a tabela B-3 da NBR 15.220 – Desempenho térmico de edificações (2003), para concreto simples com agregados de pedra, cuja a densidade aparente esteja entre 2200-2400 Kg/m^3 , pode-se adotar a condutividade térmica para o concreto $k_c = 1,75 \text{ W/mK}$. Dessa forma, como $d = 2238,18 \text{ kg/m}^3$, adotamos este valor para k_c .

Para o coeficiente de condutividade térmica da fibra óptica polimérica, por não conseguir determinar em laboratório, adotamos $k_f = 0,04 \text{ W/mK}$, o mesmo valor do coeficiente de condutividade térmica da fibra de vidro e do poliestireno expandido moldado, que é um tipo de polímero presente na tabela B-3 da NBR 15220 (2003). A partir desses coeficientes com valores designado, é possível determinar a resistência térmica do material pela equação 2 adaptada para este trabalho:

$$R = \frac{\Delta x}{A k} \quad (2)$$

Em que:

$\Delta x \rightarrow$ Espessura do bloco em metros;

$A \rightarrow$ Área em m^2 ;

$K \rightarrow$ Coeficiente de condutividade térmica do material em W/mk .

O bloco de concreto translúcido tem 0,15 m de espessura com uma área que recebeu o fluxo de calor infravermelho de 0,0741 m^2 (0,19x0,39 m), sendo que 4,1% dessa área são das FOPs (406 unidades de fibras com diâmetro 3,2 mm), e os outros 95,9% de concreto.

Com todos esses valores definidos é possível determinar a resistência equivalente do bloco de concreto translúcido através da análise de resistência em paralelo, como mostra a figura 46, conforme a equação 3:

$$\frac{1}{R_{eqfc}} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_c} \quad (3)$$

Em que:

$R_{eqfc} \rightarrow$ Resistência equivalente do bloco de concreto translúcido em $(m^2 \cdot K)/W$

$R_f \rightarrow$ Resistência da fibra em $(m^2 \cdot K)/W$

$R_c \rightarrow$ Resistência do concreto em $(m^2 \cdot K)/W$

Tirando MMC – Mínimos múltiplos comum e deixando o R_{eqfc} no numerador, temos a equação 4:

$$R_{eqfc} = \frac{R_c R_f}{R_c + R_f} \quad (4)$$

Dessa forma, substituindo as resistências equivalente, do concreto e da fibra pela fórmula da equação 2 temos a equação 5:

$$\frac{\Delta x}{A k_{fc}} = \frac{\frac{\Delta x}{0,959A k_c} + \frac{\Delta x}{0,041A k_f}}{\frac{\Delta x}{0,959A k_c} + \frac{\Delta x}{0,041A k_f}} \quad (5)$$

Em que:

$k_{fc} \rightarrow$ Coeficiente de condutividade térmica do concreto translúcido em W/mk .

$k_c \rightarrow$ Coeficiente de condutividade térmica do concreto em W/mk .

$k_f \rightarrow$ Coeficiente de condutividade térmica da fibra em W/mk.

Os valores 0,959 e 0,041 multiplicaram a área total para se ter a proporção certa de cada material, concreto e fibra respectivamente. Substituindo todos os valores nas incógnitas, temos que o coeficiente de condutividade térmica teórico da fibra + concreto é de:

$$k_{fc} = 1,679 \text{ W/mk.}$$

5.1.2 DADOS EXPERIMENTAIS

Para a realização dos resultados experimentais, foi utilizado a análise do fluxo de calor (equação 6) que, de acordo com a NBR 15220 (2003), é a quantidade de calor que atravessa um material durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo. Dessa forma, para determinar o fluxo de calor, foi considerado apenas as medições a partir de 40 min, pois como o bloco é espesso, a condução do calor só foi significativa a partir desse tempo exposto a fonte.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (6)$$

Em que:

$\dot{Q} \rightarrow$ Fluxo de calor em W;

$Q \rightarrow$ calor em J;

$\Delta t \rightarrow$ Variação do tempo em s;

$\Delta T \rightarrow$ Variação de temperatura em °C.

Para saber o coeficiente de condutividade térmica do concreto translúcido, substituímos os coeficientes do concreto com fibras na equação 6 e dividimos pela expressão do concreto sem fibras, que se tornou a equação 7:

$$\frac{\frac{Q_{fc}}{\Delta t_{fc}}}{\frac{Q_c}{\Delta t_c}} = \frac{k_{fc}}{k_c} A \frac{\frac{\Delta T_{fc}}{\Delta x}}{\frac{\Delta T_c}{\Delta x}} \quad (7)$$

Como foi escolhido uma mesma variação de temperatura, considerou-se que o calor é o mesmo nos dois blocos de concreto (com e sem fibras), então eles se cancelam. As áreas, a espessura e a diferença de temperatura são também as mesmas, cancelando-as e se tornando a equação 8:

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_{fc}} = \frac{k_{fc}}{k_c} \quad (8)$$

Dessa forma, a partir desses dados foram efetuados três ensaios, dois com o concreto translúcido que é o objeto da análise (um com a fonte do lado direito e o outro do lado esquerdo) e um com concreto sem fibras (com a fonte do lado esquerdo) que é o parâmetro de comparação. Foram então analisados apenas os dados a partir de 40 min de exposição à fonte de calor e pegando uma variação de temperatura de 3°C, pois pelo fato do material ser muito espesso, demora muito para transferir o calor. (Tabela 10)

Tabela 10 - Variação de temperatura escolhida para obter o tempo de exposição

TIPO DE BLOCO COM A POSIÇÃO DA FONTE	TEMPERATURA	TEMPO
CONCRETO C/ FIBRAS LD	$\Delta T = 33 - 30 \rightarrow 3^\circ\text{C}$	$\Delta t = 98 - 46 \rightarrow 52 \text{ min}$
CONCRETO C/ FIBRAS LE	$\Delta T = 30 - 27 \rightarrow 3^\circ\text{C}$	$\Delta t = 103 - 51 \rightarrow 52 \text{ min}$
CONCRETO S/ FIBRAS LE	$\Delta T = 31 - 28 \rightarrow 3^\circ\text{C}$	$\Delta t = 97 - 49 \rightarrow 48 \text{ min}$

Fonte: Autor

Como a variação de tempo dos blocos de concreto translúcido foi o mesmo, substituímos os valores nos Δt de cada material e isolando o coeficiente de condutividade térmica do concreto translúcido, temos a equação 9:

$$k_{fc} = 0,92 k_c \quad (9)$$

Como $k_c = 1,75 \text{ W/mk}$, substituindo-o na equação 9, temos que:

$$k_{fc} = 1,61 \text{ W/mk}$$

Comparando ambos os valores do coeficiente de condutividade térmica tanto do cálculo teórico quanto do cálculo experimental, temos que houve uma margem de erro de apenas 4,1%, ou seja, está dentro de uma margem de erro aceitável e pequena, viabilizando o ensaio e a análise. Tanto o valor teórico quanto o valor experimental, mostram que o concreto com fibras ópticas polimérica/plásticas conduz menos calor

que o concreto sem fibras ideal para iluminar o ambiente e objetos sem aumentar a temperatura.

Para confirmar que a maior parte do calor foi conduzido pelo bloco de concreto translúcido, foi analisado a resistência térmica do bloco e da parede divisória (composta de duas chapas de gesso com 1,23 cm de espessura e dentre elas 5 cm de espessura de lã de rocha), conforme equação 10:

$$R_{eq} = 2R_d + R_r \quad (10)$$

Substituindo nas resistências das chapas de gesso e lã de rocha da expressão 10 pela expressão 2, com valores de espessura de 1,23 e 5 cm e os valores dos coeficientes de condutividade térmica utilizados da tabela B-3 da NBR 15220 (2003), 0,35 e 0,045 respectivamente, com a área de 0,22 m² (0,6x0,5-0,19x0,39), temos que:

$$R_{eq} = 5,37 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Fazendo o mesmo cálculo para a resistência equivalente do bloco de concreto translúcido, usando o coeficiente de condutividade térmica calculada na parte experimental, $k_{fc}=1,61 \text{ W/mk}$, temos:

$$R_{eq} = 1,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Ou seja, a parede divisória é 4,3 vezes mais resistente que o bloco de concreto translúcido, confirmando que a maior parte do calor conduzido foi pelo bloco.

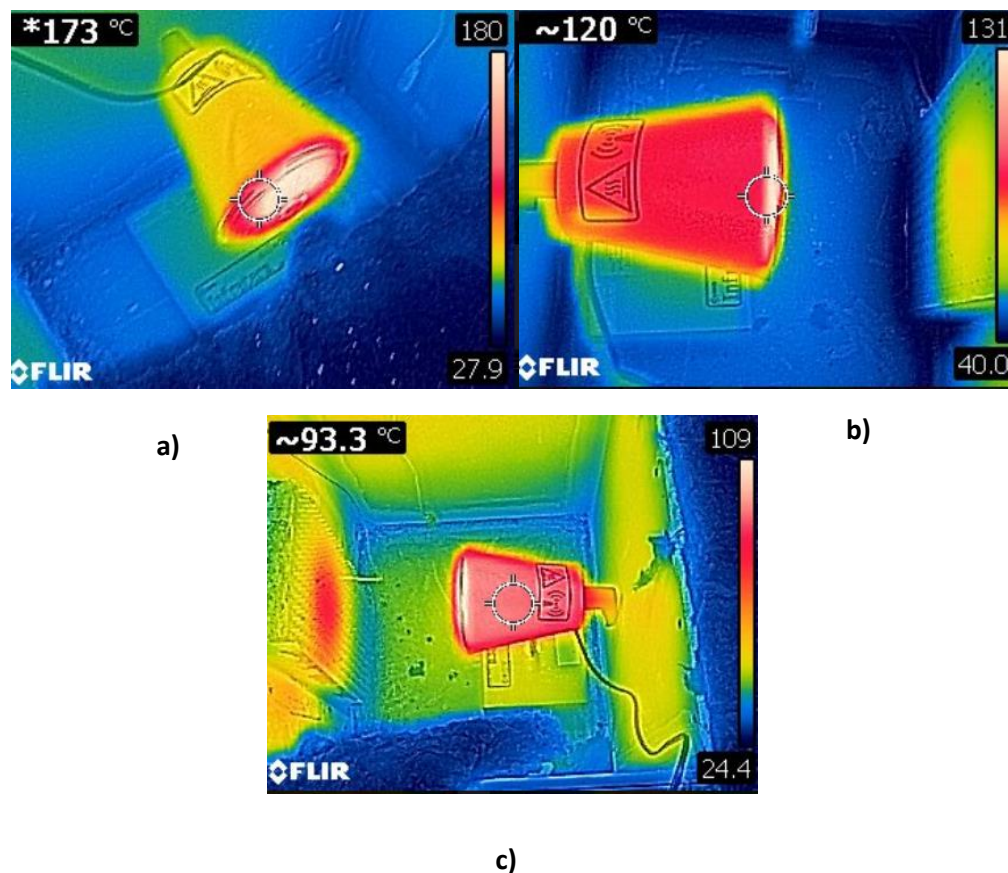
5.1.3 CÂMERA TERMOGRÁFICA

A câmera termográfica só foi utilizada para complementação dessa pesquisa, pois por não ser um equipamento de muita precisão e para a sua medição era necessário a abertura do aparato experimental (o que já ocorre a perda de calor para o ambiente externo) foi somente comparado os valores da câmera e a temperatura final das medições no termopar.

A Figura 50 mostra os valores medidos com o “target” apontado para a luz infravermelha após 120 min de medição, mostrando que o revestimento da lâmpada que é um metal aqueceu bem mais do que o ambiente e a amostra. O que é de se

esperar, já que o coeficiente de condutividade térmica do aço e ferro fundido, de acordo com a tabela B-3 da NBR 15220 (2003), é de 55 W/(m.K), ou seja, aproximadamente 29x mais condutor do que o concreto cujo coeficiente é 1,75 W/(m.K).

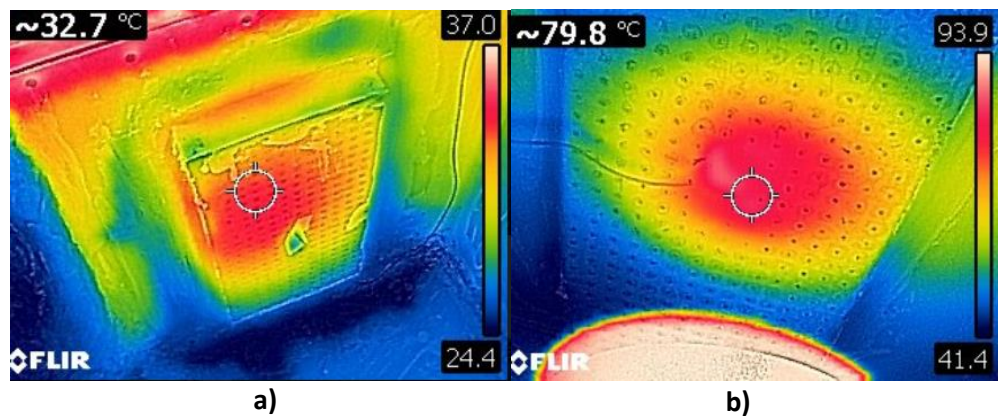
Figura 50 - a) infravermelho com concreto translúcido do lado esquerdo; b) infravermelho com concreto sem fibras do lado esquerdo; c) infravermelho com concreto translúcido do lado direito



Fonte: Autor

A mostra as medições da câmera termográfica após o concreto translúcido estar exposto pela fonte de calor localizada no lado direito durante 120 min. A tabela do anexo II mostra que a temperatura final do termopar foi de 34°C e 85°C, respectivamente.

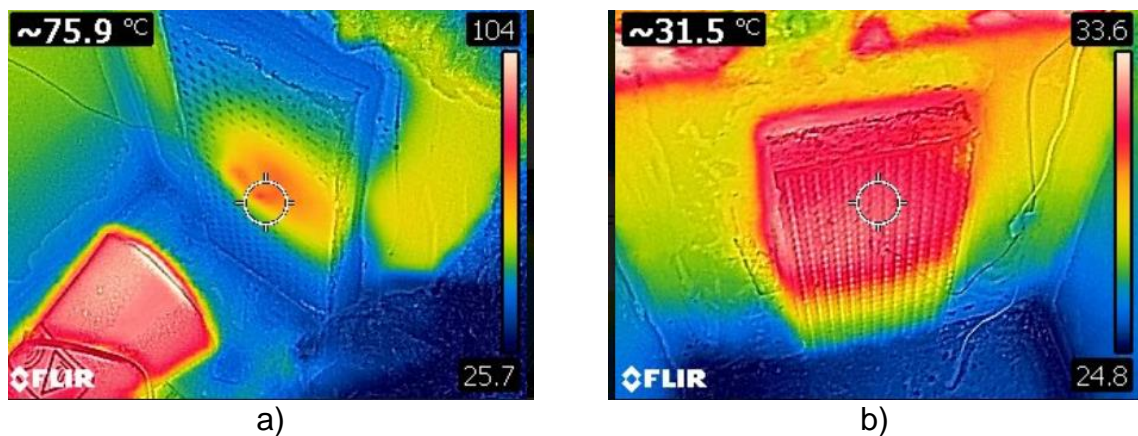
Figura 51 - a) medição da face do calor conduzido; b) medição da face exposta pela fonte



Fonte: Autor

A Figura 52 mostra as medições da câmera termográfica após o concreto translúcido estar exposto pela fonte de calor localizada do lado esquerdo durante 120 min. A tabela do anexo II mostra que a temperatura final do termopar foi de 76°C e 31°C, respectivamente.

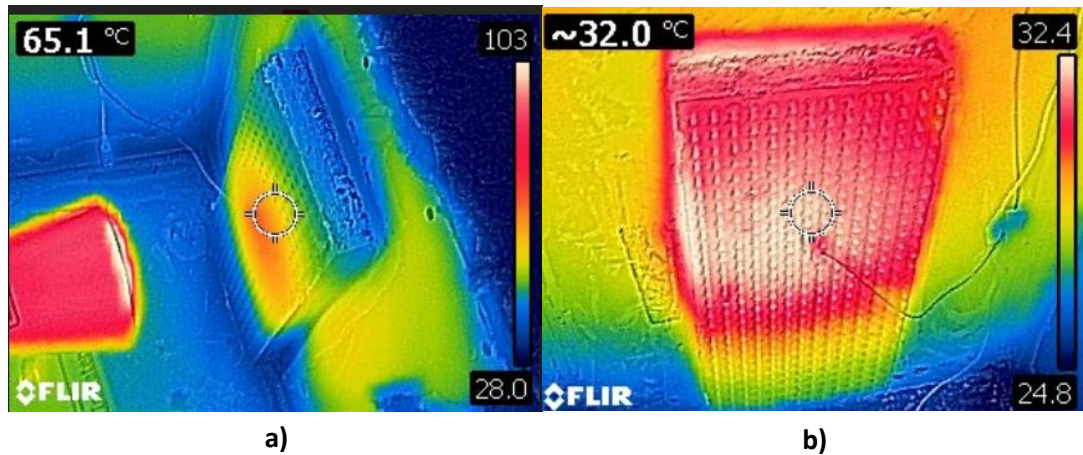
Figura 52 - a) medição da face exposta pela fonte; b) medição da face do calor conduzido



Fonte: Autor

A Figura 53 mostra as medições da câmera termográfica após o concreto sem fibras estar exposto pela fonte de calor localizada do lado esquerdo durante 120 min. A tabela do anexo II mostra que a temperatura final do termopar foi de 70°C e 31°C, respectivamente.

Figura 53 - a) medição da face exposta pela fonte; b) medição da face do calor conduzido



Fonte: Autor

Apesar da câmera termográfica não ser tão precisa quanto o termopar, ela teve pouca variação ao compará-los (conforme mostra figuras 49, 50 e 51), já que a sua medição era esperado ser menor, pois para tirar a foto teve que abrir o aparato experimental, o que perde calor para o meio externo.

5.2 MEDIÇÃO DA ILUMINÂNCIA

Inicialmente, para saber se o aparato experimental estava bem fechado, a fonte de luz foi ligada do lado esquerdo e a amostra colocada na divisória foi o bloco de concreto sem fibras. Foi então medido com o luxímetro do lado direito para verificar se estava ocorrendo a passagem de luz por alguma fresta ou canto. A leitura do luxímetro foi de 0 lux, ou seja, o aparato experimental estava corretamente vedado contra a entrada ou vazamento de luz.

Para o cálculo da iluminância média, utilizou-se a fórmula descrita no “MANUAL DE MEDIÇÃO E CÁLCULO DAS CONDIÇÕES LUMINOTÉCNICAS” do Programa de Recuperação de Espaços Didáticos da USP item 2.4.2.3, sendo obtida a partir da média aritmética de todos os pontos aferidos, conforme equação 11:

$$E_m = \frac{\sum P}{n} \quad (11)$$

Em que:

Em → *iluminância média em Lux*

P → *Ponto aferido em Lux*

n → *Número de pontos aferidos*

Para o ensaio, foram aferidos 5 pontos do lado do condutor e do lado do receptor do bloco de concreto translúcido com 4,1% de FOP em sua composição. Foi então efetuado a iluminância média, conforme expressão 11 e foi calculado o percentual de transmissão de luz pelo bloco, como mostra Tabela 11.

Tabela 11 - Dados aferidos e calculados para se obter o %transmissão da luz

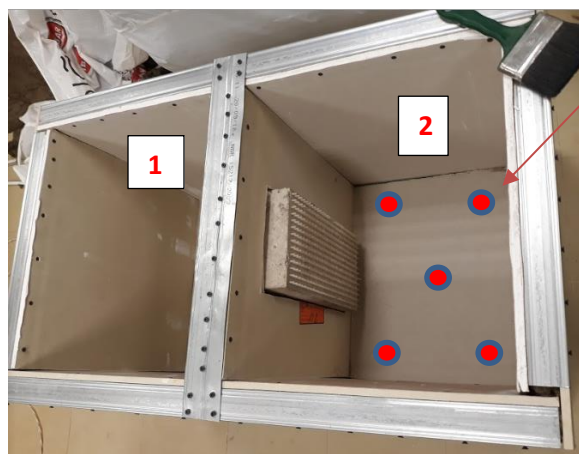
LADO CONDUTOR		LADO RECEPTOR	
PONTO	MEDIÇÃO EM LUX	PONTO	MEDIÇÃO EM LUX
1	1920	1	5,0
2	1240	2	6,8
3	1177	3	3,1
4	1515	4	2,3
5	1012	5	5,4
MÉDIA	1372,8	MÉDIA	4,52
% DE TRANSMISSÃO DA LUZ			0,33%

Fonte: Autor

Área do bloco de concreto translúcido: 0,0741 m² (0,19mx0,39m)

Área 1 e 2 (conforme Figura 54): 0,2075 m² (0,5mx0,415m) cada

Figura 54 - Área 1 e 2 de influência da transmitância de luz

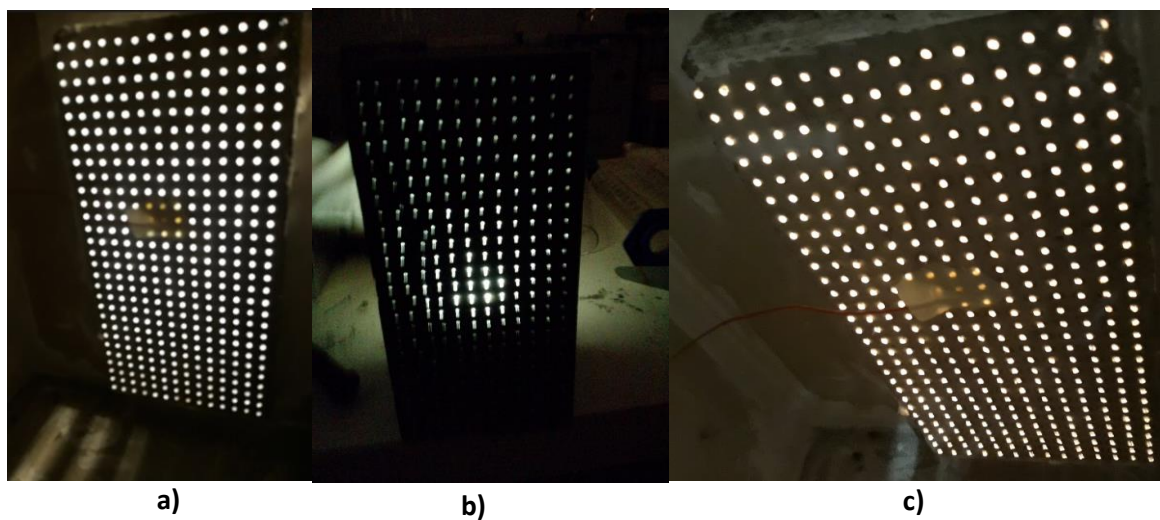


**PONTOS
AFERIDOS**

Fonte: Autor

A partir desses dados é possível aferir que com 4,1% de fibras no concreto, com área igual a 0,0741 m², medidos cinco pontos na área 1 e 2 (um em cada canto e um no meio conforme Figura 54), ele transmite 0,33% dessa iluminância. Apesar de ser um percentual pequeno de transmissão ele é considerável, uma vez que esses pontos aferidos foram distribuídos em uma área de 0,2075 m², ou seja, uma área bem maior do que o bloco de concreto translúcido, o que já proporcionou um conforto estético que pode gerar uma economia de energia em lugares que tem grande incidência de luz solar, e pode transmitir a incidência de luz elétrica de um outro ambiente, sendo possível a observação da silhueta exterior, conforme .

Figura 55 - a); b) ;c) Ensaio de transmitância de luz visível



Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

Por conta das dificuldades e imprevistos que apareceram na execução do bloco de concreto translúcido, o ideal é que estes fossem executados com concreto auto adensável, por conta da dificuldade de vibração devido as FOPs.

O ensaio de condutividade térmica verificou que FOPs adicionadas no concreto diminuem a condutividade térmica do bloco, uma vez que as fibras possuem o coeficiente menor e ocupam uma área que seria até então preenchidas pelo concreto, tornando essa união chamada de concreto translúcido ideal para iluminar objetos e ambientes sem elevar a temperatura, já que o coeficiente de condutividade térmica do concreto é de 1,75 W/mK enquanto o do concreto translúcido é de 1,61 W/mK, ou seja, 8% menor com percentual de fibras de 4,1%.

Seria melhor aproveitado para o ensaio um bloco de concreto translúcido menos espesso, já que para a outra face do bloco aumentar a temperatura consideravelmente foi necessário mais que 40 min de exposição à fonte de calor.

A execução do aparato experimental foi de suma importância para a realização dos ensaios de transmitância de luz e condutividade térmica, assim como os instrumentos de medição descritos no escopo do trabalho, sendo interessante a utilização do termopar com casas decimais e não só números inteiros para se ter uma maior precisão da temperatura, e uma melhor fixação do termômetro convencional no aparato experimental para que seja possível a medição da transferência de calor por radiação e convecção.

Apesar do concreto translúcido com 4,1% de FOPs transmitir 0,33% de iluminação após aferir cinco pontos distribuídos no aparato experimental, este é um material que pode trazer uma economia de energia, uma vez que consegue iluminar parcialmente o espaço apenas com a utilização de luz solar ou energia elétrica de outro ambiente, podendo ver a silhueta exterior e apresentando um conforto estético luminotécnico.

Dessa forma, este trabalho contribuirá para o estudo nacional dessa inovação na construção civil que se chama concreto translúcido, agregando conhecimento sobre este produto para que um dia ele seja produzido industrialmente no mercado nacional.

7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Analisar a possibilidade da utilização de concreto armado com a FOP;
- Realizar os ensaios de condutividade térmica do concreto translúcido com a caixa bem fechada e parede menos espessa;
- Determinar o coeficiente de condutividade térmica da FOP;
- Montagem de um ambiente com paredes de concreto translúcido para verificar a economia de energia que pode ser obtida através da presença de luz solar;

8 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN – **NBR 15.220**: estabelece Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABTN – **NBR 15.424**: Ensaios não destrutivos – Termografia. 2016

BATTAGIN, A. F., et al. **Influência das Condições de cura em algumas propriedades dos concretos convencionais e de alto desempenho**. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, IBRACON, 2002.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. United Kingdom. Elsevier, 1990, apud ARIF, M. A. **Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço**. Uberlândia, 2014.

BROLIATO PLÁSTICOS. “**Como funciona o processo de extrusão e co-extrusão de termoplásticos**”. Disponível em: <<http://www.broliato.com/br/faq/5/como-funciona-o-processo-de-extrusao-e-co-extrusao-de-termoplasticos>> Acesso em outubro de 2018.

CADAVID RESTREPO, L. M. **Concreto translúcido**: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra ótica e as suas aplicações na arquitetura. 2013. 134 f. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2013.

CAMPOS, A. L. G. **Fibras ópticas: uma realidade reconhecida e aprovada**. Boletim bimestral sobre tecnologia de redes produzido e publicado pela RNP – Rede Nacional de Ensino e Pesquisa. Vol. 6, n 2, 2002. Disponível em:<https://memoria.rnp.br/newsgen/0203/fibras_opticas.html>.

CICHINELLI, G. “**Cobertura descontínua privilegia iluminação natural no novo terminal de passageiros do Aeroporto Internacional de Guarulhos (SP)**”. Edição 209 da revista técnica 2014. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/209/artigo326223-2.aspx>> Acesso em outubro de 2018.

COELHO, F. C. A. **Desenvolvimento e aplicação do Concreto Translúcido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza, Ceará. Anais... Fortaleza: 2010. IBRACON, p.30-45.

FIBRACEM. “**Como é feita a fabricação de fibra óptica**”. Disponível em: <<https://www.fibracem.com/curiosidades/como-e-feita-a-fabricacao-de-fibra-optica/>> Acesso em novembro de 2018.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 247 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2011.

FRAMPTON, KENNETH (1991). “**The Museum of Modern Art: Distributed by H.N. Abrams**”. Disponível: <https://www.moma.org/documents/moma_catalogue_348_300085246.pdf>. Acesso em agosto de 2018

GIACOMELLI, A; MANTOVANI, C. **Concreto Translúcido: A nova tendência estética na construção**. 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2014. Anais.

GRANATO, J, E; POLIDORO, G. **Reforço secundário de proteção mecânica sobre impermeabilização utilizando macrofibra sintética**. Viapol. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/documentos-e-pesquisas/cases/refor%C3%A7o-ecund%C3%A1rio-de-prote%C3%A7%C3%A3o-mec%C3%A2nica-sobre-impermeabiliza%C3%A7%C3%A3o-utilizando-macrofibra-sint%C3%A9tica/>> Acesso em outubro de 2018.

GOMES, C.E.M; PIRES, A; MOREIRA, H. **Concreto Translúcido: Premissas de Durabilidade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013, Gramado, Rio Grande do Sul. Anais... Gramado: 2013. p. 70-85.

HENRIQUES, T. S. **Análise da Influência da Fibra Óptica Polimérica inserida em Blocos de Argamassa**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

JÚNIOR, JOAB SILAS DA SILVA. “**O que são fibras ópticas?**”; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-fibras-opticas.htm>>. Acesso em 08 de outubro de 2018.

LOPES, M. M. (2005) **Substituição parcial de armaduras de flexão em vigas de concreto**. 2005. 130 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

LOSONCZI, A. **Building Block Comprising Light Transmitting Fibres and a Method for Producing the same**, United States Patent Application Publication, nº US 2005/0183372 A1. Patente. 25/agosto/2005. Disponível: <<http://v3.espacenet.com/publicationDetails/description?CC=US&NR=2005183372A1&KC=A1&FT=D&date=20050825&DB=&locale=>> Acesso em setembro 2018.

LOSONCZI, A., **Translucent Building Block and a Method for Manufacturing the same**, United States Patent Application Publication, nº WO2009007765, Patente. 15/01/2009.

LIVI, CELSO P. **“Fundamentos de Fenômenos de Transporte”** Livro 2º edição, editora LTC-Livros Técnicos E Científicos, 268 páginas.

LITRACON, **“Light Transmitting Concrete”**. Disponível em: <http://www.litracon.hu/en> Acesso em novembro de 2018.

LUCCON. Disponível em: <http://www.luccon.com/> Acesso em outubro de 2018.

“MANUAL DE MEDIÇÃO E CÁLCULO DAS CONDIÇÕES LUMINOTÉCNICAS” do Programa de Recuperação de Espaços Didáticos da USP. Disponível em: <http://www.prg.usp.br/wp-content/uploads/medicaoecalculolumi_proed.pdf> Acesso em outubro de 2018.

OLIVEIRA, W. L. *et al.* **“Determinação Do Coeficiente De Condutividade Térmica De Compósitos Constituídos A Partir Da Fibra De Coco”**. 2015. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre/ RS.

PERUZZI, A. de P. **“Comportamento das Fibras de Vidro Convencionais em Matriz de Cimento Portland Modificada com Látex e Adição de Sílica Ativa”**. Dissertação (Mestrado). São Carlos, 2002. USP, Escola de Engenharia de São Carlos.

Revista nº. 53, **“Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo”**. IBRACON, 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf> Acesso em setembro de 2018.

SABER ELÉTRICA: **“como usar um luxímetro?”**; Saber elétrica. Disponível em <<https://www.sabereletrica.com.br/como-usar-luximetro/>>. Acesso em 13 de novembro de 2018

SANTOS, S. **“Concreto com Sustentabilidade”**. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina, CREA-SC, 2013. Disponível em: <<http://www.crea->

sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.W5GWy-hKhPY> Acesso em setembro de 2018.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. **Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP)**. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

URIBE, L. J. M. **Desenvolvimento e avaliação de argamassa translúcida com fibra ótica polimérica**. 2010. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico – CTC, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

UNESCO: “**Transmissão de luz- Espaço de Meditação Tadao Ando**”; Unesco. Disponível em <<http://www.unesco.org/artcollection/NavigationAction.do?idOeuvre=3185>>. Acesso em 05 de agosto de 2018.

TUTIKIAN, B.F. **Concreto translúcido pode ir além da estética**. 2009 (Artigo digital disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-translucido-pode-ir-alem-da-estetica/> acessado em novembro de 2018)

TEZUKA, I. -Concreto armado com fibras. ABCP. São Paulo. 1989

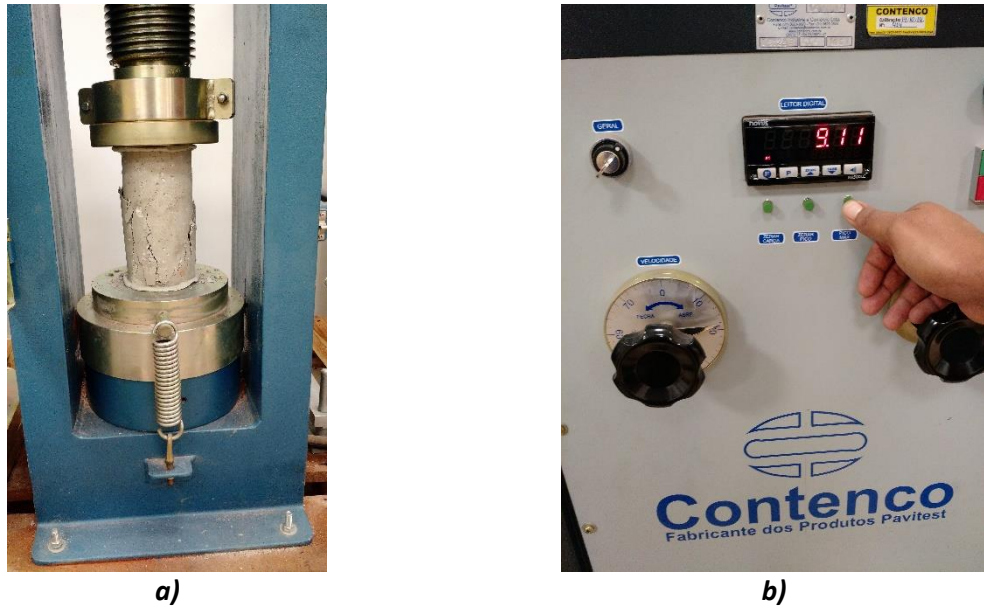
TEZUKA, I. -Concreto de cimento e polímero. ABCP. São Paulo. 1988

9 ANEXO I

Resultados Obtidos até o presente:

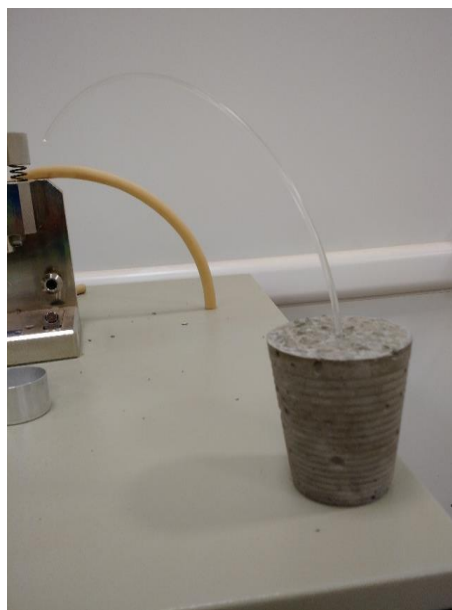
Como resultado preliminar pode-se a confecção de dos blocos estruturais, na Figura 56 pode ser ver o primeiro corpo de prova testado aos 7 dias de concretado.

Figura 56 - a) corpo de prova testado a compressão; b) Valor pico obtido no teste de compressão



Fonte: Autor

Figura 57 - corpos de prova para o teste de aderência fibra concreto.



Fonte: Autor

Figura 58 - a) corpo de prova testado a compressão que será comparado com o concreto com fibras ;b) Valor pico obtido no teste de compressão



a)



b)

Fonte: Autor

10 ANEXO II

As Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14 mostram os resultados dos três ensaios de condutividade térmica.

Tabela 12 - Concreto translúcido com a fonte do lado direito

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COLOCADO NA FIBRA LADO DIREITO						
INICIAL	30	24,4	24,2	30	24,6	25,6
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
1	30	24,4	24,5	44	24,5	26,9
2	30	24,4	25	49	24,5	28
3	30	24,4	25,6	52	24,4	28,9
4	30	24,3	25,8	54	24,4	29,8
5	30	24,3	26,1	55	24,4	30,3
6	30	24,3	26,2	56	24,4	30,8
7	30	24,3	26,3	56	24,4	31,3
8	30	24,3	26,4	58	24,3	31,6
9	30	24,3	26,5	59	24,3	32,1
10	30	24,3	26,6	60	24,3	32,4
11	30	24,3	26,6	61	24,3	32,7
12	30	24,2	26,6	61	24,3	33
13	30	24,2	26,7	62	24,3	33,4
14	30	24,2	26,8	62	24,3	33,7
15	30	24,1	26,8	63	24,2	34
16	30	24,1	26,8	64	24,2	34,3
17	30	24,1	26,8	64	24,2	34,6
18	30	24,1	26,8	64	24,2	34,9
19	30	24,1	26,8	65	24,1	35,3
20	30	24,1	26,8	65	24,1	35,4
21	30	24,1	26,9	66	24,1	35,8
22	30	24,1	26,9	66	24,1	35,9
23	30	24,1	26,9	66	24,1	36,3
24	30	24,1	26,9	67	24,1	36,6
25	30	24	26,9	67	24,1	36,9
26	30	24	26,9	67	24,1	37,1
27	30	24	26,9	68	24,1	37,3
28	30	24	26,9	68	24,1	37,6
29	30	24	26,9	69	24,1	37,8
30	30	24	26,9	69	24,1	38,1
31	30	23,9	26,9	69	24,1	38,4
32	30	23,9	27	70	24,1	38,6
33	30	23,9	27	70	24	38,9
34	30	23,9	27	71	24	39,3
35	30	23,9	27	71	24	39,6
36	30	23,9	27	71	24	39,8
37	30	23,9	27,1	71	24	40
38	30	23,9	27,1	71	24	40,3
39	30	23,9	27,1	72	24	40,4

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COLOCADO NA FIBRA LADO DIREITO						
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
40	30	23,9	27,1	72	24	40,7
41	30	23,9	27,1	72	24	40,9
42	30	23,9	27,1	72	24	41,1
43	30	23,9	27,1	73	24	41,3
44	30	23,9	27,1	73	23,9	41,5
45	30	23,9	27,1	73	23,9	41,8
46	30	23,9	27,1	73	23,9	41,9
47	31	23,8	27,2	73	23,9	42,1
48	31	23,9	27,2	74	23,9	42,3
49	31	23,8	27,2	74	23,9	42,5
50	31	23,8	27,2	74	23,9	42,8
51	31	23,8	27,3	74	23,9	42,9
52	31	23,8	27,3	74	23,9	43,1
53	31	23,8	27,3	75	23,9	43,3
54	31	23,8	27,3	75	23,9	43,5
55	31	23,8	27,3	75	23,9	43,6
56	31	23,8	27,3	75	23,9	43,8
57	31	23,8	27,3	75	23,9	44,1
58	31	23,8	27,3	76	23,9	44,2
59	31	23,8	27,4	76	23,9	44,4
60	31	23,8	27,4	76	23,9	44,6
61	31	23,9	27,4	76	24	44,8
62	31	23,9	27,4	77	24	45
63	31	23,9	27,4	77	24	45,1
64	31	23,9	27,4	77	24,1	45,3
65	31	24	27,4	77	24,1	45,5
66	31	24	27,5	77	24,1	45,6
67	31	24,1	27,5	77	24,1	45,8
68	31	24,1	27,5	77	24,2	46
69	31	24,1	27,6	78	24,2	46,1
70	31	24,1	27,6	78	24,3	46,3
71	31	24,1	27,6	78	24,3	46,4
72	31	24,1	27,6	79	24,3	46,6
73	31	24,2	27,6	79	24,3	46,8
74	32	24,2	27,7	79	24,3	46,9
75	32	24,3	27,7	79	24,4	47,1
76	32	24,3	27,7	79	24,4	47,3
77	32	24,3	27,8	79	24,4	47,4
78	32	24,3	27,8	79	24,4	47,6
79	32	24,3	27,8	80	24,4	47,8
80	32	24,3	27,8	80	24,4	47,9
81	32	24,3	27,8	80	24,5	48
82	32	24,4	27,9	80	24,5	48,2
83	32	24,4	27,9	80	24,5	48,3
84	32	24,4	27,9	80	24,5	48,5
85	32	24,4	27,9	80	24,6	48,6
86	32	24,4	28	80	24,6	48,8
87	32	24,4	28	81	24,6	48,9

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COLOCADO NA FIBRA LADO DIREITO						
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
88	32	24,4	28,1	81	24,6	49,1
89	32	24,4	28,1	81	24,6	49,2
90	32	24,4	28,1	81	24,6	49,4
91	32	24,5	28,1	81	24,6	49,5
92	32	24,5	28,2	81	24,7	49,7
93	32	24,5	28,2	82	24,7	49,8
94	32	24,5	28,3	82	24,7	49,9
95	32	24,6	28,3	82	24,8	50,1
96	32	24,6	28,3	82	24,8	50,2
97	32	24,6	28,3	82	24,8	50,3
98	33	24,6	28,4	82	24,8	50,4
99	33	24,6	28,4	82	24,8	50,6
100	33	24,6	28,4	83	24,8	50,8
101	33	24,6	28,4	83	24,9	50,9
102	33	24,7	28,5	83	24,9	51
103	33	24,7	28,5	83	24,9	51,2
104	33	24,7	28,6	83	24,9	51,3
105	33	24,8	28,6	83	24,9	51,4
106	33	24,8	28,6	83	25	51,5
107	33	24,8	28,6	84	25	51,6
108	33	24,8	28,7	84	25	51,8
109	33	24,8	28,7	84	25	51,9
110	33	24,8	28,8	84	25	52,1
111	33	24,8	28,8	84	25	52,2
112	33	24,8	28,8	84	25,1	52,4
113	33	24,8	28,8	84	25,1	52,4
114	33	24,9	28,9	84	25,1	52,6
115	33	24,9	28,9	84	25,1	52,8
116	33	24,9	28,9	85	25,1	52,8
117	34	24,9	29	85	25,1	53
118	34	24,9	29	85	25,1	53,1
119	34	24,9	29,1	85	25,1	53,3
120	34	24,9	29,1	85	25,1	53,4

Fonte: Autor

Tabela 13 - Concreto translúcido com a fonte do lado esquerdo

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COM AS FIBRAS COLOCADO DO LADO ESQUERDO						
INICIAL	26	24,6	26,3	26	24,6	28,5
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
1	37	24,6	27,8	26	24,6	28,4
2	40	24,6	28,7	26	24,6	28,3
3	42	24,6	29,4	26	24,7	28,1
4	43	24,6	30,1	26	24,7	28
5	45	24,6	30,8	26	24,7	27,9
6	46	24,6	31,3	26	24,7	27,8
7	47	24,7	31,8	26	24,8	27,7
8	48	24,7	32,4	26	24,8	27,6
9	49	24,7	32,8	26	24,8	27,5
10	50	24,7	33,3	26	24,8	27,4
11	51	24,8	33,8	26	24,8	27,3
12	52	24,8	34,2	26	24,8	27,3
13	52	24,8	34,6	26	24,8	27,2
14	53	24,8	35	26	24,8	27,1
15	54	24,8	35,4	26	24,8	27,1
16	54	24,8	35,8	26	24,8	27
17	55	24,8	36,3	26	24,9	26,9
18	55	24,8	36,6	26	24,9	26,9
19	56	24,8	36,9	26	24,9	26,8
20	56	24,9	37,3	26	24,9	26,8
21	57	24,9	37,3	26	24,9	26,7
22	57	24,9	38	26	24,9	26,7
23	58	24,9	38,4	26	24,9	26,6
24	58	24,9	38,6	26	24,9	26,6
25	59	24,9	39	26	24,9	26,6
26	59	24,9	39,3	26	24,9	26,5
27	59	24,9	39,6	26	24,9	26,4
28	60	24,9	39,9	26	25	26,4
29	60	25	40,3	26	25	26,4
30	61	25	40,6	26	25	26,4
31	61	25	40,9	26	25	26,3
32	62	25	41,2	26	25	26,3
33	62	25,1	41,4	26	25	26,3
34	63	25,1	41,7	26	25	26,3
35	63	25,1	41,9	26	25,1	26,2
36	63	25,1	42,2	26	25,1	26,2
37	63	25,1	42,4	26	25,1	26,2
38	64	25,1	42,8	26	25,1	26,1
39	64	25,1	42,9	26	25,1	26,1
40	64	25,1	43,3	26	25,1	26,1
41	64	25,1	43,4	26	25,1	26,1
42	64	25,2	43,7	26	25,1	26,1

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COM AS FIBRAS COLOCADO DO LADO ESQUERDO						
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
43	64	25,2	43,9	26	25,1	26,1
44	65	25,2	44,1	26	25,2	26,1
45	65	25,3	44,4	26	25,2	26,1
46	65	25,3	44,6	26	25,2	26,1
47	65	25,3	44,8	26	25,3	26,1
48	65	25,3	45,1	26	25,3	26,1
49	66	25,3	45,3	26	25,3	26,1
50	66	25,3	45,4	26	25,3	26,1
51	66	25,3	45,6	27	25,3	26,1
52	66	25,4	45,9	27	25,3	26,1
53	66	25,4	46,1	27	25,3	26,1
54	66	25,4	46,1	27	25,4	26,1
55	67	25,4	45,1	27	25,4	26,1
56	67	25,4	44,3	27	25,4	26,1
57	67	25,4	43,3	27	25,4	26,1
58	67	25,4	43,3	27	25,4	26,1
59	67	25,5	43,2	27	25,4	26,1
60	68	25,5	43,1	27	25,4	26,1
61	68	25,5	43,1	27	25,5	26,1
62	68	25,5	43,1	27	25,5	26,1
63	68	25,6	43,2	27	25,5	26,1
64	68	25,6	43,3	27	25,6	26,1
65	68	25,6	43,4	27	25,6	26,1
66	68	25,6	43,6	27	25,6	26,1
67	69	25,6	43,7	27	25,6	26,1
68	69	25,6	43,7	27	25,6	26,1
69	69	25,6	43,8	27	25,6	26,1
70	69	25,6	44	28	25,6	26,1
71	69	25,7	44,1	28	25,6	26,2
72	69	25,7	44,3	28	25,7	26,2
73	70	25,7	44,6	28	25,8	26,2
74	70	25,8	44,8	28	25,8	26,2
75	70	25,8	44,9	28	25,8	26,3
76	70	25,8	45,1	28	25,8	26,3
77	70	25,8	45,2	28	25,8	26,3
78	70	25,8	45,3	28	25,8	26,3
79	71	25,8	45,4	28	25,8	26,3
80	71	25,8	45,6	28	25,8	26,3
81	71	25,9	45,8	28	25,9	26,4
82	71	25,9	45,9	28	25,9	26,4
83	71	25,9	46,1	28	25,9	26,4
84	71	25,9	46,3	28	25,9	26,4
85	72	25,9	46,4	28	25,9	26,4
86	72	26	46,6	28	26	26,4
87	72	26	46,7	29	26	26,5

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO COM AS FIBRAS COLOCADO DO LADO ESQUERDO						
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
88	72	26	46,9	29	26	26,5
89	72	26	46,9	29	26	26,5
90	72	26,1	47	29	26,1	26,6
91	72	26,1	47,1	29	26,1	26,6
92	73	26,1	47,3	29	26,1	26,6
93	73	26,1	47,4	29	26,1	26,6
94	73	26,1	47,6	29	26,1	26,6
95	73	26,1	47,7	29	26,1	26,6
96	73	26,1	47,8	29	26,1	26,7
97	73	26,1	48	29	26,1	26,7
98	73	26,1	48,1	29	26,2	26,8
99	74	26,2	48,3	29	26,2	26,8
100	74	26,2	48,4	29	26,2	26,8
101	74	26,2	48,5	29	26,2	26,8
102	74	26,2	48,6	29	26,2	26,8
103	74	26,2	48,8	30	26,2	26,9
104	74	26,2	48,9	30	26,2	26,6
105	74	26,2	49,1	30	26,3	26,3
106	74	26,2	49,1	30	26,3	26,2
107	74	26,2	49,3	30	26,3	26,1
108	75	26,2	49,4	30	26,3	25,9
109	75	26,2	49,5	30	26,3	25,9
110	75	26,2	49,8	30	26,3	25,9
111	75	26,2	49,8	30	26,3	25,9
112	75	26,2	49,9	30	26,3	25,9
113	75	26,2	49,9	30	26,3	25,9
114	75	26,2	50	30	26,3	25,9
115	75	26,2	50,2	30	26,2	25,9
116	76	26,2	50,3	30	26,2	25,9
117	76	26,2	50,4	30	26,2	25,9
118	76	26,2	50,6	31	26,2	25,9
119	76	26,2	40,7	31	26,2	26
120	76	26,2	40,8	31	26,2	26

Fonte: Autor

Tabela 14 – Concreto sem fibras com a fonte do lado esquerdo

LUZ DE INFRAVERMELHO NO CONCRETO SEM AS FIBRAS COLOCADO DO LADO ESQUERDO						
INICIAL	22	24,3	24,5	24	24,4	23,8
MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
1	36	24,3	25,3	26	24,3	25,9
2	38	24,2	26,1	26	24,3	27
3	41	24,2	27,1	26	24,3	28
4	42	24,2	27,5	26	24,2	28,5
5	44	24,1	28,1	26	24,1	28,8
6	45	24,1	28,5	26	24,1	29,1
7	47	24,1	28,9	26	24,1	29,3
8	48	24,1	29,3	26	24,1	29,4
9	50	24,1	29,6	26	24,1	29,6
10	50	24,1	30	26	24,1	29,6
11	51	24,1	30,4	26	24,1	29,6
12	52	24,1	30,6	26	24,1	29,6
13	52	24,1	31,3	26	23,9	29,6
14	59	24,1	31,1	26	23,9	29,6
15	60	24,1	31,5	26	23,8	29,6
16	60	24,1	31,9	26	23,8	29,6
17	61	23,8	32,8	26	23,6	29,6
18	61	23,8	33,1	26	23,6	29,6
19	61	23,8	33,4	26	23,6	29,6
20	62	23,8	33,8	26	23,5	29,6
21	62	23,7	34,1	26	23,4	29,6
22	62	23,7	34,3	26	23,4	29,6
23	62	23,7	34,7	26	23,4	29,6
24	63	23,6	35,1	26	23,4	29,6
25	64	23,6	35,5	26	23,4	29,5
26	64	23,6	35,7	26	23,3	29,5
27	64	23,6	35,8	26	23,3	29,5
28	64	23,6	36	26	23,3	29,5
29	64	23,6	36,2	26	23,3	29,5
30	65	23,6	36,4	26	23,2	29,5
31	65	23,5	36,7	26	23,2	29,5
32	65	23,5	36,9	26	23,1	29,5
33	66	23,5	37,3	26	23,1	29,5
34	66	23,4	37,4	26	23,1	29,5
35	66	23,4	37,8	26	23	29,5
36	66	23,4	38,1	26	23	29,4
37	66	23,4	38,4	26	23	29,4
38	66	23,4	38,5	26	23	29,4
39	66	23,4	38,7	27	23	29,5
40	66	23,4	38,8	27	23	29,5
41	67	23,4	39,1	27	23	29,5
42	67	23,3	39,3	27	23	29,5

MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
43	67	23,3	39,4	27	23	29,5
44	67	23,3	39,7	27	23	29,5
45	67	23,3	39,8	27	23	29,5
46	67	23,3	40,1	27	23	29,5
47	67	23,3	40,3	27	23	29,5
48	67	23,3	40,4	27	23	29,5
49	67	23,3	40,7	28	23	29,5
50	67	23,2	40,9	28	23	29,5
51	67	23,2	41,1	28	23	29,5
52	67	23,2	41,3	28	23	29,5
53	67	23,2	41,4	28	23	29,5
54	67	23,2	41,7	28	23	29,5
55	68	23,2	41,9	28	23	29,5
56	69	23,1	42	28	22,9	29,5
57	69	23,1	42,1	28	22,9	29,5
58	69	23,1	42,3	28	22,7	29,3
59	69	23,1	42,4	28	22,7	29,3
60	69	23,1	42,4	28	22,4	29,3
61	69	23,1	42,7	28	22,4	29,3
62	69	23,1	42,9	28	22,4	29,3
63	68	23	43	28	22,4	29,3
64	68	23	43	28	22,3	29,2
65	68	23	43	28	22,3	29,2
66	68	23	43	29	22,3	29,2
67	68	23	43	29	23	29,1
68	66	23	43,4	29	22,3	29,2
69	64	23	43,7	29	22,3	29,2
70	62	23	43,9	29	22,3	29,2
71	64	22,9	44,3	29	22,3	29,1
72	65	22,9	44,3	29	22,3	29,1
73	67	22,9	44,3	29	22,3	29,1
74	68	22,9	44,3	29	22,3	29,1
75	66	22,9	44,4	29	22,3	29,1
76	66	22,9	44,5	29	22,3	29,1
77	65	22,9	44,7	29	22,3	29,1
78	64	22,8	44,9	29	22,2	29,1
79	64	22,8	45,2	29	22,2	29,1
80	64	22,8	45,4	30	22,2	29,1
81	64	22,8	45,6	30	22,2	29,1
82	65	22,8	45,8	30	22,2	29,1
83	65	22,8	45,9	30	22,2	29,1
84	65	22,8	46,1	30	22,2	29,1
85	65	22,8	46,3	30	22,1	29,1
86	66	22,8	46,4	30	22,1	29,1
87	66	22,8	46,6	30	22,1	29,1
88	66	22,8	46,8	30	22,1	29,1

MINUTOS	TERMOPAR	IN	OUT	TERMOPAR	IN	OUT
89	66	22,7	46,9	30	22,1	29,1
90	66	22,7	47,1	30	22,1	29
91	67	22,7	47,2	30	22,1	29
92	67	22,7	47,3	30	22,1	29
93	67	22,7	47,4	30	22,1	29
94	67	22,7	47,7	30	22	29,1
95	67	22,7	47,8	30	22	29,1
96	67	22,6	48,1	30	22	29,1
97	67	22,6	48,2	31	22	29,1
98	67	22,6	48,3	31	22	29,1
99	67	22,6	48,4	31	22	29,1
100	67	22,6	48,4	31	22	29,1
101	67	22,6	48,5	31	22	29,1
102	68	22,6	48,6	31	22	29,1
103	68	22,6	48,7	31	22	29,1
104	68	22,6	48,7	31	22	29,1
105	68	22,6	48,8	31	22	29,1
106	68	22,6	48,9	31	22	29,1
107	68	22,6	49,1	31	22	29,1
108	68	22,6	49,2	31	22	29,1
109	68	22,6	49,3	31	22	29,1
110	68	22,6	49,4	31	22	29,1
111	68	22,6	49,5	31	22	29,1
112	69	22,6	49,7	31	22	29,1
113	69	22,5	49,8	31	22	29,1
114	69	22,5	49,9	31	22	29,1
115	69	22,5	50	31	21,9	29,1
116	70	22,5	50,2	31	21,9	29,2
117	70	22,5	50,3	31	21,9	29,2
118	70	22,5	50,4	31	21,9	29,2
119	70	22,5	50,5	31	21,9	29,2
120	70	22,5	50,6	31	21,9	29,2

Fonte: Autor

Foram elaborados gráficos comparativos do comportamento de cada ensaio, da temperatura (°C) com relação ao tempo (min), conforme mostra gráfico 1, em que mostra o comportamento no lado do termopar condutor e o gráfico 2 que mostra do lado receptor.

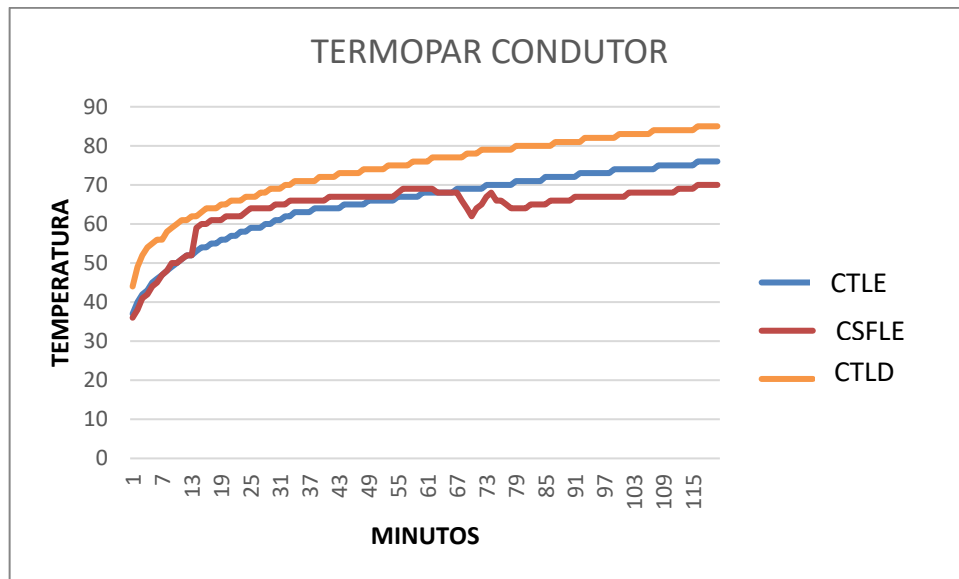
Em que:

CTLE→ Concreto translúcido com a fonte de calor do lado esquerdo;

CSFLE→ Concreto sem fibras com a fonte de calor do lado esquerdo;

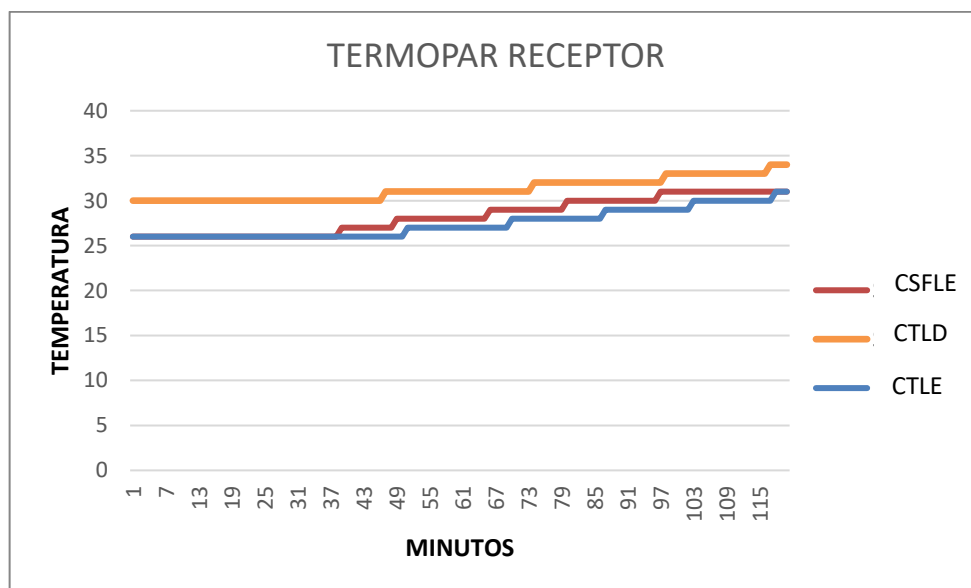
CTLD→ Concreto translúcido com a fonte de calor do lado direito;

Figura 59 - Comparativo do comportamento dos três ensaios no termopar condutor



Fonte: Autor

Figura 60 - Comparativo do comportamento dos três ensaios no termopar receptor



Fonte: Autor

A partir dos dados das Tabela 12, Tabela 13 e Tabela 14 e das Figura 59 e Figura 60, é possível observar que o comportamento gráfico dos três ensaios é muito parecido. No Figura 59, a curva do concreto sem fibras foi o que mais diferenciou, isso ocorreu porque o termopar pode ter desgrudado um pouco e dado essa variação.